

Milieurapport Vlaanderen

MIRA **Achtergronddocument 2005** **niet-ioniserende straling**



Coördinerend auteur

Myriam Bossuyt, MIRA-team, VMM

Auteurs

Dirk Adang, EMIC, UCL

Gilbert Decat, Integrale Milieustudies, Vito

Luc Martens, Vakgroep Informatietechnologie, UGent

Wout Joseph, Vakgroep Informatietechnologie, UGent

Lectoren

Dit document werd kritisch nagelezen door:

Hugo Westyn, Elektrabel nv

Laatst bijgewerkt op: januari 2006

Woord vooraf

Dit is het achtergronddocument voor het hoofdstuk niet-ioniserende straling. Het achtergronddocument bundelt de kennis en informatie aangedragen in de MIRA-T-rapporten vanaf 1998. Dit document wordt elk jaar bijgewerkt en is raadpleegbaar op de websites <http://www.milieurapport.be> en <http://www.vmm.be/AG>.

Het Milieurapport Vlaanderen heeft de decretale opdracht enerzijds om de toestand van het milieu en het tot nu toe gevoerde milieubeleid te analyseren en te evalueren, en anderzijds om de verwachte ontwikkeling van het milieu volgens relevante beleidsscenario's te beschrijven. Daartoe werken een auteursgroep en kritische lezers (lectoren), onder coördinatie van het MIRA-team, jaarlijkse themarapporten (MIRA-T), vijfjaarlijkse scenariorapporten (MIRA-S) en tweejaarlijkse beleidsevaluatierapporten (MIRA-BE) uit. De rapporten worden beschikbaar gemaakt aan beleidsmakers en het brede publiek. Themarapporten zijn compacte studies van de verstoringsketens en onderbouwen de jaarlijkse milieujaarprogramma's van de Vlaamse overheid. Scenariorapporten zijn uitgebreide modelstudies van de verstoringsketen en leveren noodzakelijke inzichten om het Vlaamse milieubeleidsplan op te stellen. Beleidsevaluatierapporten zijn diepgaande studies over milieugerelateerde beleidsthema's.

Het geheel van de achtergronddocumenten bestaat uit *sectorhoofdstukken*, *milieuthema*-hoofdstukken en *gevolgen* hoofdstukken. Zo worden milieuverstoringsketen vanuit drie invalshoeken benaderd.

In de sectorhoofdstukken worden alle relevante milieuverstoringsketen die een sector teweegbrengt, beschreven. De maatschappelijke activiteiten die aan de basis liggen van de milieudruk in Vlaanderen, worden opgedeeld in 8 sectoren: grondstofstromen, huishoudens, industrie, energie, landbouw, transport, handel & diensten en toerisme & recreatie. Het doel van de sectorhoofdstukken is het samenbrengen van kwantitatieve inzichten in de milieudruk van een sector (zowel brongebruik als emissies) en in de onderliggende drijvende krachten ervan. Hiertoe worden indicatoren opgesteld vanuit de conceptuele milieuverstoringsketen (DPSI-R-denkkader). Indicatoren van de onderliggende maatschappelijke activiteiten (driving forces) en van de milieudruk (pressure) worden met elkaar vergeleken via indicatoren van eco-efficiëntie. De evolutie van de indicatoren wordt getoetst aan beleidsdoelstellingen. Ten slotte worden de ingezette beleidsinstrumenten en genomen maatregelen geëvalueerd (response). De activiteit-, druk-, toestand- (state) en impactindicatoren (impact) worden in de themahoofdstukken behandeld volgens een doorsnede naar milieuverstoring.

Het doel van de themahoofdstukken is het samenbrengen van kwantitatieve inzichten in de milieudruk (pressure) van de verantwoordelijke doelgroepen of sectoren (zowel brongebruik als emissies), de hieruit voortkomende milieutoestand (state) in de milieucapitalen lucht, water en bodem en de gevolgen (impact) voor mens, natuur en economie. Hiertoe worden indicatoren opgesteld vanuit de conceptuele milieuverstoringsketen (DPSI-R-denkkader).

Het doel van de impacthoofdstukken is het samenbrengen van kwantitatieve inzichten over de gevolgen (impact) voor mens, natuur en economie. Hiertoe worden indicatoren opgesteld vanuit de conceptuele milieuverstoringsketen (DPSI-R-denkkader). De evolutie van de indicatoren wordt getoetst aan beleidsdoelstellingen. Ten slotte worden de ingezette beleidsinstrumenten en genomen maatregelen geëvalueerd (response). Daarbij kunnen ook extra maatregelen worden geformuleerd om de doelstellingen te halen.

Overname wordt aangemoedigd mits bronvermelding.

Hoe citeren?

Korte citering: MIRA Achtergronddocument 2005, niet-ioniserende straling

Volledige citering: MIRA (2005) Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2005, niet-ioniserende straling, Adang D., Decat, G., Joseph W., Martens L., Bossuyt M., Vlaamse MilieuMaatschappij, <http://www.milieurapport.be>

Inhoudsopgave

Lijst met figuren	6
Lijst met tabellen	7
Beschrijving van de verstoring	8
Mechanismen	8
Het elektromagnetisch frequentiespectrum	9
Elektromagnetisch veld versus elektromagnetische straling	10
Extreem-lage frequenties (ELF)	11
Bronnen van extreem lage frequentie	11
<i>Elektrische energieproductie en -transport (150 kV tot 380 kV)</i>	11
<i>Elektrische apparatuur</i>	11
<i>Natuurlijke bronnen</i>	11
<i>Onderlinge verhouding tussen de verschillende bronnen</i>	11
Ruimtelijk perspectief	11
Impact op de natuur	12
Intermediaire frequenties	12
Radiofrequente straling en microgolfstraling	12
Bronnen van radiofrequente straling	12
<i>Telecommunicatie</i>	12
<i>Microgolfvermogenstoepassingen</i>	15
Ruimtelijk perspectief	15
Tijdsperspectief	16
Impact op natuur	16
Ultraviolette en infrarode straling	16
Bronnen van UV-straling en lasers	16
Verbanden met andere thema's	17
Indicatoren	17
Extreem lage frequenties (ELF)	17
Bronnen van extreem lage frequenties	17
<i>Geografische lengte van het hoogspanningsnet (D)</i>	17
<i>Elektrische toestellen in huishoudens (D)</i>	18
Opwekking van extreem lage frequenties	19
<i>Emissieveldbelasting door hoogspanningslijnen (P)</i>	19
Aanwezigheid van extreem lage frequenties in de omgeving	21
<i>Magnetisch veld rond hoogspanningslijnen (S)</i>	21
<i>ELF magnetisch veld van huishoudelijke elektrische apparaten (S)</i>	30
<i>Doelstellingen</i>	31
<i>Contactstroom</i>	32
<i>Maatregelen</i>	32
Gevolgen van extreem lage frequenties voor de mens	33
<i>Epidemiologisch en experimenteel literatuuroverzicht (I)</i>	33
<i>Bepaling van de 0,4 µT contour (I)</i>	38
Intermediaire frequenties	43
Bronnen van intermediaire frequenties	43
Intermediaire frequenties in de leefomgeving	43
<i>Intermediaire frequenties in de buurt van elektronische bewakingssystemen (S)</i>	43
Gevolgen voor de mens van intermediaire frequenties	44
Radiofrequente en microgolfstraling	44
Bronnen van radiofrequente straling	44
<i>Aantal mobiele telefoons in gebruik in België (D)</i>	45
<i>Aantal GSM-basisstations en ASTRID-zendmasten (D)</i>	46
<i>Aantal zendinstallaties voor TV en radio (D)</i>	47
Opwekking van radiofrequente straling	48
<i>Uitgezonden vermogen antennes voor omroep en mobiele communicatie (P)</i>	48
<i>Uitgezonden vermogen GSM-en UMTS-toestel (P)</i>	50
<i>Doelstellingen</i>	51

<i>Lekstraling bij microgolfovens (P)</i>	51
Radiofrequentie en microgolfstraling in de omgeving	52
<i>Elektrisch veld rond GSM-zendmasten (S)</i>	52
<i>Doelstellingen</i>	56
Gevolgen van radiofrequente straling op de mens	59
<i>Epidemiologische en experimenteel literatuuroverzicht (I)</i>	59
<i>Specifiek Absorptie Tempo (SAT) of Specific Absorption Rate (SAR) (I)</i> .	64
Ultraviolette en infrarood straling	67
Bronnen van UV-straling en infrarood	67
Aanwezigheid van UV-licht in de omgeving	67
Gevolgen van UV-straling en lasers op de mens	68
<i>UV straling</i>	68
<i>Lasers</i>	70

Lijst met figuren

Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum	9
Figuur 2: Het cellulaire systeem voor mobiele communicatie.....	13
Figuur 3: Geografische lengte van het hoogspanningsnet (België, 1991-2003)	18
Figuur 4: Emissiebelasting van het B-veld voor de luchtlijnen (Vlaanderen, 1991-2002)	20
Figuur 5: Veldverdelingen onder een 150 kV- en een 380 kV- hoogspanningslijn	22
Figuur 6: B-veld geregistreerd in een woning onder een 380 kV-lijn (2002)	25
Figuur 7: Luchtlijnennet van Vlaanderen met B-veld in functie van de afstand tot de respectievelijke lijnen (Vlaanderen, 2003)	26
Figuur 8: B-veldemissie van de 70 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)	27
Figuur 9: B-veldemissie van de 70 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)	27
Figuur 10: B-veldemissie van de 150 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)	28
Figuur 11: B-veldemissie van de 150 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)	28
Figuur 12: B-veldemissie van de 380 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)	29
Figuur 13: B-veldemissie van de 380 kV-lijnen in Vlaanderen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)	29
Figuur 14: Blootstelling van lassers aan het B-veld bij verschillende stroombelasting	31
Figuur 15: 0,4 μ T contour voor de 70 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	39
Figuur 16: 0,4 μ T contour voor de 150 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	39
Figuur 17: 0,4 μ T contour voor de 380 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	40
Figuur 18: Aantal mobiele telefoons in gebruik (België, 1995-2004)	46
Figuur 19: Aantal GSM-basisstations (Vlaanderen, 2000, 2002, 2005)	47
Figuur 20: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de Belgische referentiewaarde (bovenaan); elektrisch veld op een hoogte van 1,75 m boven de grond (onderaan)	53
Figuur 21: Histogram van de verdeling van de gecumuleerde verhouding van het gemeten elektrisch veld t.o.v. de Belgische norm (Vlaanderen, 1998-2005)	54
Figuur 22: Histogram van het gemeten elektrische veld (België, 2000-2005)	55
Figuur 23: Referentieniveaus voor het elektrisch en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking maximaal continu mag worden blootgesteld	57
Figuur 24: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het Belgisch referentieniveau	66

Lijst met tabellen

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte grootheden en hun eenheden	10
Tabel 2: Geografische lengte hoogspanningsnet per type hoogspanningslijn (België, 1991–2002)	18
Tabel 3: Penetratiegraad (%) van enkele elektrische toestellen in huishoudens (België, 1995–2001)	19
Tabel 4: E- en B-veld gemeten bij een 70 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)	23
Tabel 5: E- en B-veld gemeten bij een 150 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)	23
Tabel 6: E- en B-veld gemeten bij een 380 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)	24
Tabel 7: B-veld gedurende minimum 1 maand geregistreerd in woningen onder Belgische hoogspanningslijnen (2002)	24
Tabel 8: B-veld in functie van de afstand tot de verschillende types luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	26
Tabel 9: B-veld (μT) van enkele huishoudelijke elektrische apparaten	30
Tabel 10: Basisbeperkingen voor de geïnduceerde stroomdichtheden en contactstroom op een frequentie van 50 Hz	32
Tabel 11: Domeinen waarin biologische gevolgen van extreem-laagfrequente velden en radiogolven/microgolven werden beschreven	37
Tabel 12: Afstand (m) vanaf de hoogspanningslijn waarop 0,4 μT B-veld wordt teruggevonden bij verschillende werkings- capaciteiten van de verschillende types luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)	40
Tabel 13: Blootstelling binnen de 0,4 μT contour (Vlaanderen, 2002)	41
Tabel 14: Magnetische fluxdichtheid in de nabijheid van elektronische bewakingssystemen in werksmilieu	44
Tabel 15: Aantal zendinstallaties voor TV en radio (Vlaanderen, 2000, 2002, 2004)	48
Tabel 16: Schatting van het uitgezonden vermogen per toepassing (2005)	49
Tabel 17: Uitgezonden vermogen door basisstations voor mobiele communicatie (Vlaanderen, 2002, 2005)	50
Tabel 18: Totaal uitgezonden vermogen door antennes voor omroep en mobiele communicatie (Vlaanderen, 2002, 2005)	50
Tabel 19: Belgische referentieniveaus voor mobiele telefonie	55
Tabel 20: ICNIRP-richtlijn en Belgische norm in functie voor elektromagnetische straling tussen 10 MHz en 10 GHz	58
Tabel 21: Domeinen waarin biologische gevolgen van extreem-laagfrequente velden en radiogolven/microgolven werden beschreven	63
Tabel 22: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het Belgische referentieniveau	66
Tabel 23: Internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons	67
Tabel 24: UV-bestrallingslimieten voor zowel beroepsbevolking als de algemene bevolking, uitgedrukt als een bestralingsdosis voor een periode van 8 uur	68

Beschrijving van de verstoring

Voorheen, toen er nog geen sprake was van milieuverstoorders, werd niet-ioniserende straling uitsluitend op een natuurlijke wijze (bliksem, zon, dynamo effect van de aarde) gegenereerd. Tegenwoordig wordt de mens echter ook dagelijks blootgesteld aan een hoeveelheid niet-ioniserende straling geproduceerd door kunstmatige bronnen o.a. zonnepanelen, ICT-uitrusting en hoogspanningslijnen, waarvan de risico's nog niet duidelijk in te schatten zijn. In tegenstelling tot ioniserende straling is de fotonenergie van niet-ioniserende straling kleiner dan 12,4 elektronvolt (eV) en dus te zwak om materie te ioniseren. Het frequentiespectrum van niet-ioniserende straling strekt zich uit van 0 Hz, (de statisch elektrische en magnetische velden) tot 3 Petahertz (waar ultraviolette straling (UV) de overgang vormt naar de ioniserende straling).

Mechanismen

Elektromagnetische velden zijn afkomstig van elektrische ladingen op geleiders. Rond elke elektrische lading in rust heerst er een *elektrisch veld* gekarakteriseerd door de elektrische veldsterkte E (V/m). Via dit elektrisch veld kan deze lading een elektrische kracht uitoefenen op andere geladen deeltjes op een afstand van de lading. Beweegt de elektrische lading, dan ontstaat er tevens een *magnetisch veld* met een veldsterkte H (A/m), een magnetische fluxdichtheid of magnetisch inductieveld B [Tesla of T]. Men spreekt respectievelijk van een elektromagnetisch veld en een elektromagnetische kracht. Ondergaat de elektrische lading een versnelling, dan zal dit elektromagnetisch veld zich voortplanten en ontstaan er *elektromagnetische golven* (EM-golven). Zowel voor ELF-, RF- als microgolven geldt dat een EM-golf bestaat uit een elektrische (E) en een magnetische component (H) die beiden een grootte (sterkte) en een richting hebben. Het voortplantingseffect ontstaat doordat elk veranderend elektrisch veld een variërend magnetisch veld opwekt, dat op zijn beurt weer een elektrisch veld veroorzaakt, enz.. De beweging van de lading verandert meestal sinusoidaal in de tijd met een bepaalde frequentie f [Hertz of Hz] en een golflengte λ [m]¹. Volgende grootheden zijn essentieel bij het bepalen van de blootstelling aan elektromagnetische velden:

- *stralingsfluxdichtheid p of s , ook vaak vermogendichtheid (power density) genoemd*: de hoeveelheid elektromagnetische energie die per tijdseenheid passeert door een oppervlakte-eenheid (W/m^2);
- *elektrische stroomdichtheid J* : de elektrische stroom die door een oppervlakte-eenheid vloeit en bijvoorbeeld geïnduceerd wordt in biologische weefsels bij een invallend elektromagnetisch veld (A/m^2);
- *elektrische contactstroom*: de totale elektrische stroom die door een lichaamsdeel vloeit bij contact met een elektrisch geleidend voorwerp (A);
- *geabsorbeerd dosistempo per massa-eenheid SAR (Specific Absorption Rate) of SAT (specifiek absorptietempo)*: de hoeveelheid elektromagnetische energie die per seconde en per eenheid massa wordt geabsorbeerd en (doorgaans volledig) omgezet wordt in warmte. De SAR is afhankelijk van de stralingsbron, het blootgestelde subject (of object) en de onderlinge configuratie (W/kg).

Verder geldt dat in het elektromagnetisch veld rond een bron er een onderscheid is tussen het *nabije-veld* en het *verre-veld*. In het verre-veld van de bron zijn magnetisch en elektrisch veld met elkaar gekoppeld. De verhouding van de magnitude van het elektrisch veld tot de magnitude van het magnetisch veld is een constante, de intrinsieke impedantie van het homogene medium waarin de elektromagnetische golf zich voortplant (voor de vrije ruimte is dit 377 Ohm). Het elektrisch en magnetisch veld zijn onderling loodrecht geïntendeerd, en staan beiden loodrecht op de propagatierichting van de golf. De afstand tot het middelpunt van de bron vanaf waar deze verre-veld eigenschappen gelden, hangt af van de grootte van de bron en van de golflengte van de elektromagnetische golven in het medium. In het verre-veld kan de propagerende golf lokaal als een vlakke golf beschouwd worden, en kan de

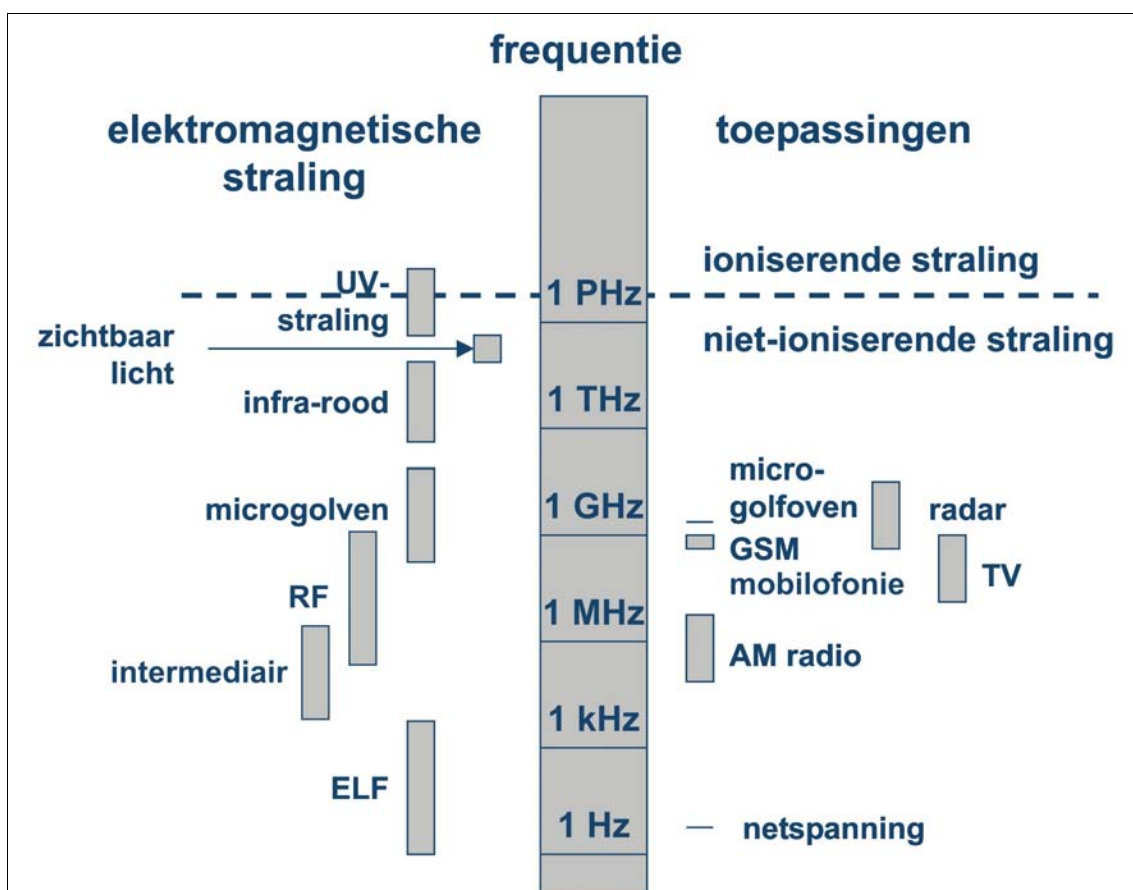
¹ De frequentie geeft het aantal golven aan dat per seconde een vast punt in de ruimte passeert. De golflengte geeft de afstand weer tussen twee opeenvolgende toppen van de golf.

vermogensdichtheid² (door een oppervlak loodrecht op de propagatierichting) berekend worden als $p = E \times H$ (met E resp. H de grootte van het elektrisch, resp. magnetisch veld). Het elektrisch veld zal in de vrije ruimte dan omgekeerd evenredig met de afstand afnemen, terwijl de vermogensdichtheid dan omgekeerd evenredig met de afstand in het kwadraat afneemt. In het nabije-veld is het verband tussen elektrisch en magnetisch veld veel complexer. Zo geldt niet langer dat de verhouding tussen de grootte van het elektrisch en magnetisch veld constant is, noch dat de vermogensdichtheid (in de propagatierichting) uit de sterkte van het elektrisch en magnetisch veld kan berekend worden.

Het elektromagnetisch frequentiespectrum

Het *elektromagnetisch frequentiespectrum* is een rangschikking van elektromagnetische velden/straling naar frequentie (Figuur 1), het omvat een gebied van ioniserende en niet-ioniserende straling. *Niet-ioniserende straling* is dat deel van het elektromagnetisch spectrum dat frequenties f kleiner dan ongeveer 3 PHz (fotonenergie is 12,4 elektronvolt (eV)) bezit en waar het meestal gaat om onnatuurlijke (mens-geproduceerde) ELF-velden (extreem lage frequentie), RF (radiofrequentie) en microgolven. De quantumenergie van deze elektromagnetische velden is te zwak om de atomen in de absorberende massa te ioniseren.

Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum



Bron: Vakgroep Informatietechnologie, UGent (2005)

² Voor blootstelling in het verre-veld aan GSM-straling worden zowel de elektrisch veldsterkte als de vermogensdichtheid gebruikt. De relatie tussen het E-veld (E , in V/m) en de vermogensdichtheid (S , in W/m²) wordt dan in het verre-veld en in de vrije ruimte gegeven door: $E_{(V/m)} = (377 \cdot S_{(W/m^2)})^{1/2}$; $S_{(W/m^2)} = (E_{(V/m)})^2 / 377$. Soms wordt voor vermogensdichtheid ook de eenheid mW/cm²: 1 W/m² = 0,1 mW/cm².

Ondanks de alomtegenwoordigheid van de niet-ioniserende straling, zijn de gevolgen voor de mens nog onduidelijk. Een samenvattend overzicht van de grootheden en hun eenheden die verder gebruikt worden in dit hoofdstuk vindt u in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte grootheden en hun eenheden

Symbool grootheid	grootheid	Symbool eenheid	Eenheid
E	Elektrische veldsterkte	V/m	Volt per meter
H	Magnetische veldsterkte	A/m	Ampère per meter
B	Magnetische fluxdichtheid	T	Tesla
p/s	Stralingsfluxdichtheid of vermogendichtheid	W/m ²	Watt per vierkante meter
Z ₀	Impedantie in vrije ruimte	Ω	Ohm
J	Elektrische stroomdichtheid	A/m ²	Ampère per vierkante meter
SAT	Specifiek absorptietempo	W/kg	Watt per kg
F	Frequentie	Hz	Hertz
λ	Golflengte	m	Meter
	Vermogen	W	Watt
	Bestralingsdosis	J/m ²	Joule per vierkante meter

Hier maken we onderscheid tussen de extreem-lage frequenties (ELF), de intermediaire frequenties (IF), de radiofrequente straling (RF) en ultraviolette en infrarode straling (resp. UV en IR).

Elektromagnetisch veld versus elektromagnetische straling

Het is vaak verwarrend dat de ene keer gesproken wordt van *elektromagnetisch veld* (EM-veld) en de andere keer van *elektromagnetische straling* (EM-straling). Wanneer het elektrisch en magnetisch veld gekoppeld zijn zoals in het verre veld waar de verhouding tussen de amplitude van het elektrisch veld en het magnetisch veld steeds constant is (377 ohm) of waar de golflengte klein is t.o.v. de radiale afstand tot de bron spreekt men van EM-straling. Is de amplitude van beide velden niet meer zodanig gekoppeld dat de verhouding constant is, zoals in het nabije veld waar de golflengte groot is t.o.v. de afstand tot de bron, spreekt men meestal van een elektrisch veld of een magnetisch veld.

Ruwweg worden de EM-golven die door gelijkspanningsbronnen, hoogspanningslijnen en alle elektrische huishoudelijke of industriële apparaten geproduceerd worden, beschouwd als EM-velden (ELF of extreem lage frequenties). Terwijl alle EM-golven in het radio-frequentiegebied (RF), in het microgolfgebied en golven met een nog hogere frequentie, beschouwd worden als EM-straling. De intermediaire frequenties zijn de frequenties grosso modo gelegen tussen de ELF-velden en de RF-straling. Afhankelijk van de exacte frequentie zullen deze dus de eigenschappen hebben van EM-velden of EM-straling.

De boven- en ondergrondse hoogspanningslijnen en alle elektrische huishoudelijke, industriële en andere toestellen zijn de belangrijkste *bronnen* die EM-velden onder vorm van elektrische en magnetische velden in de vrije ruimte genereren. De bronnen die energie onder vorm van EM-straling vrijgeven zijn telecommunicatiezenders, radio- en televisiezenders, radarinstallaties en bewakingsapparatuur. De EM-straling waarrond vandaag de grootste bekommernis rond gezondheidsrisico's bestaat, wordt gegenereerd door de zendantennes van de mobiele telefonie (900 en 1 800 MHz GSM) en de GSM-telefoons. Electrosmog is de algemene term die de elektromagnetische verstoringen van onze leefomgeving het best omschrijft.

Het grote verschil tussen ELF- (1 Hz – 300 Hz), intermediaire frequenties (300 Hz – 3 MHz), RF- (300 Hz – 300 GHz) en microgolven (300 MHz – 300 GHz) schuilt in de frequentie van de golven. Omdat de frequentie enerzijds omgekeerd evenredig is met de golflengte en de penetratie-indringdiepte in materies (bv. biologisch weefsel) en anderzijds recht evenredig is met de energie zullen respectievelijk het veldkarakter (afstand r tot bron i.f.v. nabije en verre veld), de energiedepositie en de indringdiepte sterk van elkaar verschillen. Hieruit volgt dat

blootstelling van mens, dier en plant aan verschillende EM-golftypes verschillend inwerken en verschillend benaderd moeten worden zowel voor het meten als het evalueren van de effecten.

1. | Extreem-lage frequenties (ELF)

1.1 | Bronnen van extreem lage frequentie

1.1.1 | Elektrische energieproductie en -transport (150 kV tot 380 kV)

Elektriciteitstransport benut de lage frequentie van 50 Hz (60 Hz in de Verenigde Staten) die in het jargon vaak ELF wordt genoemd. De spanningen op de lijnen veroorzaken elektrische velden en de stromen de magnetische velden. De grootte van het magnetisch veld hangt samen met het wisselende elektriciteitsgebruik. De grootste velden vindt men onder het transport- en koppelnet, die werken op een hoogspanning van 70, 150, 220 en 380 kV.

1.1.2 | Elektrische apparatuur

Ieder elektrisch apparaat dat onder spanning staat (stekker steekt in stopcontact en apparaat werkt niet) produceert een elektrisch veld. Vanaf het ogenblik dat het apparaat in werking gesteld wordt genereert de doorvloeiende stroom een magnetisch veld. Dus, vanaf het ogenblik dat een elektrisch apparaat in werking gesteld wordt, wordt de mens (of gelijk welk ander object dat) die in de omgeving van dit apparaat staat tegelijk blootgesteld aan een ELF elektrisch en een magnetisch veld. Omdat beide velden niet eenvoudig gecorreleerd zijn, gaan ze apart ageren en moeten ze apart gemeten worden.

1.1.3 | Natuurlijke bronnen

De statisch elektrische en magnetische velden die op natuurlijke wijze geproduceerd worden zijn vrijwel de belangrijkste, de natuurlijke ELF-wisselspanningsvelden. Het natuurlijk statisch elektrisch en magnetisch veld waaraan de mens in onze streken continu blootgesteld wordt bedraagt respectievelijk 130 V/m en 40 μ T, in de poolstreken ligt dit bij 70 à 75 μ T. Het statisch elektrisch veld wordt opgewekt door het spanningsveld (richting aarde) dat bestaat tussen de positief geladen ionosfeer en het negatief geladen aardoppervlak. Bij bliksemschichten kan de veldsterkte oplopen tot 20 kV/m. Het natuurlijk statisch magnetisch veld is een gevolg van de beweging van de aardkern t.o.v. de aardmantel.

De natuurlijke achtergrondsterkte van de AC elektromagnetische velden zoals ELF (30 – 300 Hz), RF (300 Hz – 300 GHz), microgolven (300 MHz – 300 GHz) zijn te verwaarlozen: het natuurlijk 50 Hz elektrisch en magnetisch veld bedragen respectievelijk 10^{-4} V/m en 10^{-6} μ T.

1.1.4 | Onderlinge verhouding tussen de verschillende bronnen

In het algemeen produceren hoogspanningslijnen relatief sterke elektrische en magnetische velden terwijl de meeste apparaten, toestellen of machines voor huishoudelijk, industrieel of ander gebruik, zwakke elektrische en sterke magnetische velden genereren. In tegenstelling tot de natuurlijke gelijkspanningsvelden (in onze gebieden 130 V/m en 40 μ T voor respectievelijk het DC elektrisch en DC magnetisch veld) is de sterkte van de natuurlijke wisselspanningsvelden zoals ELF velden te verwaarlozen.

1.2 | Ruimtelijk perspectief

Omdat leven zonder elektriciteit ondenkbaar is, kan men stellen dat waar de mens in de bewoonde wereld ook gaat of staat hij blootgesteld aan ELF elektrische en/of magnetische velden. In ieder huis worden elektromagnetische velden opgewekt door huishoudapparaten. In bedrijven met elektrische motoren, machines voor elektrisch lassen, microgolfinstallaties enz., kunnen sterke elektromagnetische velden aanwezig zijn. Voor deze klasse van bronnen blijven de velden *lokaal* aanwezig in de huizen en bedrijven, maar het veldniveau kan sterk variëren van plaats tot plaats en in de tijd, afhankelijk van het gebruik van het toestel.

Bronnen *in de open ruimte* zijn hoogspanningslijnen. De hoogspanningslijnen genereren 50 Hz-velden, de andere bronnen RF- en/of microgolven. Aangezien de golflengte bij 50 Hz zeer groot is, bevinden we ons onder een hoogspanningsleiding steeds in een nabije-veld. Hierin zijn de amplitudes van het elektrisch (E-veld) en magnetisch veld (H-veld) uit fase (E/H verschillend van 377Ω). Waardoor de ene veldcomponent niet uit de andere kan berekend worden.

1.3 | Impact op de natuur

Er werden geen negatieve effecten op vee grazend onder hoogspanningslijnen teruggevonden. De enige biologische gevolgen die niet ter discussie staan, zijn waargenomen bij *bijen*. Wanneer een bijenkorf, gemaakt van elektrisch geleidend materiaal, dicht bij een sterk elektrisch veld staat, is het gedrag van deze dieren totaal abnormaal. Over het algemeen is het plaatsen van een eenvoudig geaard metalen scherm voldoende om de normale toestand te herstellen. *Niet-geaarde geleiders* die in het elektrisch veld van hoogspanningslijnen staan, kunnen een elektrische geladen worden en hierdoor dieren die met het voorwerp in aanraking komen, verwonden. (WHO, 2005b)

Mariene organismen zijn niet alleen aan het natuurlijk magnetisch veld van de aarde blootgesteld. Daarnaast is er ook een bijkomend natuurlijk elektrisch veld veroorzaakt door de zeestromingen. Bepaalde mariene organismen zoals *haaien, roggen en katvis*, gebruiken electroreceptieve organen voor oriëntatie en prooidetectie. De door de mens aan het leefmilieu toegevoegde ELF-bronnen op dit leefmilieu zoals onderzeese elektriciteitskabels lijken geen substantiële gedragswijzigingen of biologische effecten te veroorzaken (Warnke, 1993; WHO, 2005b).

Uitvoerige experimenten hebben geen gevolgen van de normaal teruggevonden velden van hoogspanningsleidingen voor *planten* kunnen aantonen. Bij uitzonderlijk hoge elektrische velden (boven de ICNIRP richtlijnen ter bescherming van de mens) kunnen ontladingen naar de toppen van de bladeren schade toebrengen aan bomen. Deze elektrische velden komen enkel voor dichtbij geleiders van hoogspanningslijnen die onder heel hoge spanning staan (WHO, 2005b).

2. | Intermediaire frequenties

Frequenties die zowat tussen de radiofrequente straling en de extreem lage frequenties liggen, worden ook soms aangeduid als de *intermediaire frequenties of middenfrequenties*. Er zijn verschillende definities voor deze frequenties in omloop. Soms wordt als afbakening van de intermediaire frequenties 300 Hz en 10 MHz gebruikt. In dit document echter worden de frequenties tussen 3 kHz en 3 MHz als intermediaire frequenties behandeld.

Er is een hele reeks van toepassingen die deze frequenties gebruiken zoals anti-diefstal en identificatiesystemen, bepaalde radarsystemen, en metaaldetectiesystemen (wapenopsporing) ...

3. | Radiofrequente straling en microgolfstraling

3.1 | Bronnen van radiofrequente straling

3.1.1 | Telecommunicatie

Eerst wordt de sterk groeiende sector van de *mobiele telecommunicatie* besproken. De emissie van de elektromagnetische velden bij mobilofonie is afkomstig van de basisstations van de operatoren en van het gsm-toestellen van de gebruikers.

Sedert 1999 worden nog enkel digitale zendsystemen voor publieke mobilofonie gebruikt. We bespreken bijgevolg de drie digitale systemen:

- GSM900 (Global System for Mobile Communications) is in België in gebruik sinds 1994 en werkt met zendsignalen in de frequentiebanden 890 - 915 MHz voor het GSM-toestel

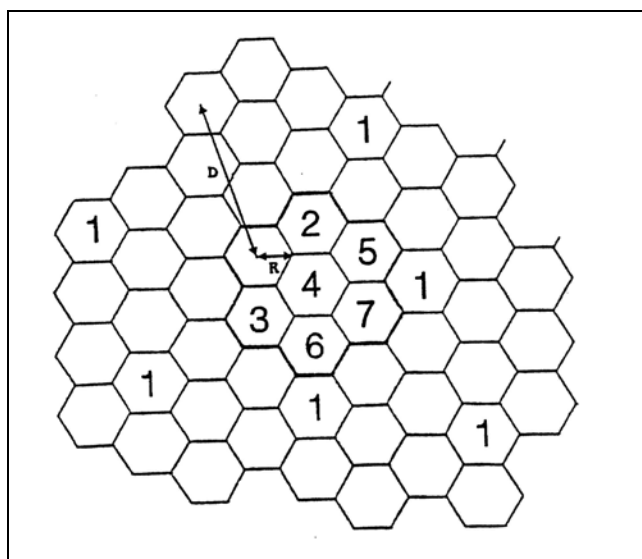
en 935 - 960 MHz voor het basisstation. E-GSM (Enhanced GSM) gebruikt de frequentiebanden 880 – 890 MHz voor het GSM-toestel en 925 – 935 MHz voor het basisstation.

- GSM1800 (soms DCS1800, Digital Cellular System, genoemd) met frequentiebanden 1 710 – 1 785 MHz voor het GSM-toestel en 1 805 – 1 880 MHz voor het basisstation.
- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) gebruikt de frequentieband 1 920 – 1 980 MHz voor het GSM-toestel en 2 110 – 2 170 MHz voor het basisstation. Sinds 2004 is UMTS beschikbaar in België voor professionele klanten. Er is voornamelijk dekking in grote steden als Brussel, Antwerpen, Gent ... In 2005 wordt UMTS voor het grote publiek gelanceerd.

De digitale systemen delen het grondgebied op in cellen met een straal van ca. 2 à 10 km (zg. macrocellen, Figuur 2). In stedelijk gebied is de oppervlakte soms kleiner (microcellen met straal 500 m). In sommige gebouwen (zoals winkelcentra, stations, kantoorgebouwen) zijn antennes met een nog kleiner bereik geïnstalleerd (picocellen). Het uitgestraalde spitsvermogen (of piekvermogen) voor een GSM900-toestel is 2 W. De 8 W-toestellen zijn van de markt verdwenen. Iedere cel wordt door één of meer antennes van een basisstation bediend. Voor een basisstationantenne is het maximum vermogen afhankelijk van de celgrootte dat het basisstation bedient (macrocellen zullen een veel groter maximaal vermogen hebben dan picocellen), het omgevend landschap, het type antenne en de netwerkcapaciteit (het aantal gebruikers dat het basisstation tegelijk kan bedienen). Waarden van 10 tot 100 W zijn gebruikelijk voor macrocellen, terwijl voor picocellen het maximaal vermogen kleiner dan 2 W is. Door de opsplitsing in cellen kan men zendfrequenties hergebruiken in cellen die ver van elkaar liggen. Zo maakt men maximaal gebruik van de beperkte frequentieband toegekend voor GSM. Zowel het GSM-toestel als het basisstation zullen het uitgezonden vermogen aanpassen aan de kwaliteit van de verbinding: om interferentie en batterijverbruik te minimaliseren, zal er minder vermogen uitgezonden worden voor een mobilfoon die zich dichtbij het basisstation bevindt, dan voor een gebruiker die zich ver bevindt. Bijgevolg zal het gemiddeld uitgezonden vermogen veel lager liggen dan het maximaal vermogen.

Het GSM1800-systeem is gelijkaardig aan het GSM900 systeem, maar werkt op frequenties rond 1 800 MHz. Voor GSM1800 is een dubbel zo grote frequentieband toegekend in vergelijking met GSM900. Dit betekent een verdubbelde capaciteit of een verdubbeld aantal gebruikers dat op hetzelfde ogenblik kan bellen. De celgrootte en het gebruikte vermogen bij het GSM1800-systeem (maximum spitsvermogen 1 W voor het GSM-toestel) zijn kleiner dan bij het GSM900-systeem.

Figuur 2: Het cellulaire systeem voor mobiele communicatie.



Het cellulair systeem voor mobilofonie werkt des te beter naarmate er meer basisstations beschikbaar komen. Dit betekent dat het aantal antennes op pylonen en op bestaande structuren in het landschap van Vlaanderen toeneemt. Zoeken naar aanvaardbare locaties en gemeenschappelijk gebruik van locaties is nodig.

Belangrijk is het verschil tussen het *spitsvermogen* (of piekvermogen) en het *rms-vermogen* van het GSM-toestel. Dit laatste geeft een gemiddelde of effectieve waarde weer van een periodiek wisselend vermogen, en moet steeds worden gebruikt voor de berekening van de in het lichaam geabsorbeerde vermogens vermits in de normen steeds uitgemiddeld wordt over 6 minuten. Bij het GSM900- en het GSM1800-systeem wordt de zogenaamde tijdsmultiplexering toegepast: dit wil zeggen dat de tijd in een frequentiekanaal wordt verdeeld onder 8 telefoongesprekken of met andere woorden dat tijdens een telefoongesprek een GSM900- of GSM1800-telefoon gedurende $1/8^e$ van de tijd zendt en dat $7/8^e$ van de tijd gebruikt wordt voor de andere 7 gesprekken. Dit betekent dat we moeten rekenen met een rms-waarde van $1/8^e$ van het spitsvermogen of dus 0,25 W en 0,125 W voor het GSM900-respectievelijk het GSM1800-systeem. Wanneer een GSM-toestel gebruikt wordt voor datacommunicatie (in GPRS, General Packet Radio Service) kunnen meerdere slots tegelijk gebruikt worden en kan het gemiddeld vermogen hoger liggen dan 0,25 W.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) verschilt voornamelijk van een GSM-signaal door het gebruik van Wideband CDMA (Code Division Multiple Access), het gebruik van een grotere signaalbandbreedte van ongeveer 5 MHz, en de frequentiebanden van 1 920 – 1 980 MHz en 2 110 – 2 170 MHz. Bij UMTS wordt bovendien het uitgezonden vermogen aangepast elke 0,67 ms (dit is 1 500 maal per seconde) binnen een bereik van 0,5 tot 3 dB. De celgrootte is meestal kleiner zijn voor UMTS dan voor GSM en vermogens van 10 tot 20 W zijn gebruikelijk voor de UMTS basisstationantennes. UMTS-kaarten zijn reeds geïntegreerd in bv. laptops voor professionele klanten. Vanaf september 2005 zijn de eerste UMTS diensten voor het grote publiek beschikbaar. Het rms-vermogen van UMTS-toestellen varieert van 125 tot 250 mW.

Het *TETRA (Terrestrial Trunked Radio)* is eveneens een digitaal radiocommunicatienetwerk, maar is in tegenstelling tot GSM900, GSM1800 en UMTS gericht op professionele gebruikers. TETRA maakt eveneens gebruik van een cellulair netwerk en gebruikt gelijkaardige technologie als GSM-netwerken. Het maximaal piekvermogen van de mobilfoon is 3 W. Typische vermogens voor de basisstations zijn 40 W. De frequentieband die gebruikt wordt ligt rond de 400 MHz. Het ASTRID netwerk voor de hulpdiensten maakt gebruik van TETRA (frequentieband 380 – 395 MHz), terwijl de frequentieband 410 – 430 MHz gebruikt kan worden voor private toepassingen (bv. koerier- of taxibedrijven).

Het *digitale lokaal telefoniesysteem DECT* (Digital European Cordless Telecommunications / Digital Enhanced Cordless Telecommunications) werkt ook in de 1 800 MHz band maar is momenteel beperkt tot business en residentieel gebruik (de draagbare telefoon). DECT opereert meestal binnen een afstand van 300 m van het basisstation of de centrale. Het systeem gebruikt nog lagere vermogens (250 mW spitsvermogen en 10 mW rms-vermogen). We laten dit systeem dan ook buiten beschouwing.

Momenteel worden ook meer en meer *internet hotspots en draadloze computernetwerken (WLAN, Wireless Local Area Network)* geïnstalleerd, die gebruik maken van verschillende frequentiebanden (2,45 GHz, 3 GHz, 5 GHz en 17 GHz). De belangrijkste WLAN-producten zijn *Wi-Fi (Wireless Fidelity)* en Bluetooth. Binnenkort doen ook UWB-producten (Ultra-WideBand) hun intrede. 'Access points' in draadloze computernetwerken zijn de stations die data zenden en ontvangen. Aangezien deze netwerken slechts een bepaalde dekking zullen bieden, zal hun uitgezonden vermogen beperkt zijn (maximaal 1 W).

Andere draagbare communicatiesystemen zoals walkie-talkies en citizenband radio's opereren gewoonlijk in de gebieden van 27 tot 54 MHz, van 132 tot 174 MHz en van 403 tot 512 MHz met maximum vermogens tot 100 W.

Radiozenders sturen elektromagnetische straling met frequenties 0,18 - 1,6 MHz (AM) en 88 - 108 MHz (FM) in de ether. Typische uitgezonden vermogens voor FM-zenders zijn van de

orde van enkele honderden Watt. Middengolfzenders kunnen een vermogen tot een megawatt in de ether brengen. Televisiezenders gebruiken de frequenties tussen 470 en 854 MHz. De uitgezonden vermogens van radio- en televisiezenders liggen tussen 50 en 5 000 kW ERP (Effective Radiated Power).

De krachtigste emissies van radiogolven worden opgewekt door *radar*. Radars kunnen opgedeeld worden in hoogvermogen toestellen (zoeken en opsporen van voorwerpen voor militaire of burgerlijke doeleinden) en gemiddeld- en laagvermogen toestellen (boot- en vliegtuignavigatie en snelheidsmeters). Opsporingsradars werken met hoge piekvermogens tot 30 GW in het 1 tot 9 GHz gebied en hebben meestal draaiende antennes, zodat het tijdsgemiddelde stralingsniveau op één plaats beperkt wordt. Toch kunnen in de omgeving van dergelijke radars hoge blootstellingen voorkomen. Radars met een gemiddeld vermogen werken typisch bij 4,5 of 9,375 GHz met maximumvermogens van 20 tot 100 kW. De straling van de meeste radars is gepulseerd. Pulsen van extreem korte duur worden uitgestuurd met een ritme van enkele honderden pulsen per seconde. Daarom is het gemiddeld uitgezonden vermogen gewoonlijk 1 000 maal lager dan het maximum vermogen. Verkeersradars gebruiken de frequenties 10 tot 30 GHz en hebben vermogens rond de 10 mW. De blootstelling van personen aan radarstraling gebeurt vooral beroepsmatig.

3.1.2 | Microgolfvermogenstoepassingen

Naast de telecommunicatie zijn er ook thermische toepassingen waarbij de elektromagnetische golf de drager is van energie. Deze toepassingen zijn: het drogen, koken, steriliseren, pasteuriseren en vulcaniseren. De meest gebruikte uit deze reeks is de huishoudelijke *microgolfoven* die werkt bij een frequentie van 2 450 MHz en een vermogen van 600 tot 1 200 W. De lekstraling van deze ovens bedraagt gemiddeld 0,2 mW/cm² en ligt hierdoor ruim binnen de grenzen van de emissienorm van 5 mW/cm². Er bestaat geen verband tussen de intensiteit van de lekstraling en het vermogen of de prijs van de microgolfoven. Hoe kleiner echter de ovenlast waardoor er minder absorptie van microgolven en meer reflectie is, hoe groter de lekstraling. Bij een zeer kleine last (bv. opwarmen van 25 ml water) kan men zich verwachten aan een lekstralingsintensiteit van 1 mW/cm².

3.2 | Ruimtelijk perspectief

Bronnen *in de open ruimte* zijn antennes voor satellietcommunicatie, TV- en radioverbindingen en mobiele communicatie. Bij RF- en/of microgolfantennes, zoals GSM-basisstations, hebben we een totaal andere situatie dan bij de ELF velden: bijvoorbeeld bij een basisstation van 900 MHz (0,9 GHz) met een antenne met een lengte van 2 m bevinden we ons reeds op 25 meter van de antenne in het verre-veld waar E- en H- in fase ($E/H = 377\Omega$) zijn en uit elkaar kunnen berekend worden. Een regel waar vaak tegen gezondigd wordt is dat in het verre-veld het E-veld afneemt met de straal van de afstand ($1/r$) en de vermogendichtheid (p of s) met het kwadraat van de afstand ($1/r^2$). Door een antenne wordt het vermogen ook steeds in een bepaalde richting gestuurd volgens het verre-veld antennepatroon. Aangezien hier vrij hoge vermogens worden gebruikt voor satelliet-, radio- en TV-verbindingen kunnen de veldsterktes hoog zijn in de nabijheid van de antennes. Door het richtingseffect en de hoge opstelling van de antennemasten, zullen de velden op menshoogte merkbaar kleiner zijn, al moet dit ter plaatse worden nagegaan. Radarinstallaties worden op luchthavens en op controlecentra voor militaire doeleinden gebruikt. De vermogens van de antennes kunnen hier zeer hoog zijn, maar vermits de algemene bevolking steeds verder van de antennes verwijderd is, zal deze slechts bestraald worden door lage elektromagnetische velden. Militairen en luchtvaartpersoneel die in de buurt van antennes komen, kan wel onderhevig zijn aan hogere straling. Opnieuw moet ter plaatse de grootte van de velden waaraan het personeel wordt blootgesteld, worden nagegaan. In het kader van de aardobservatie, scant de radar ERSS (European Remote Sensing Satellite; frequentie 5 GHz) van op een hoogte van 800 km eenzelfde plek van de aarde om de 24 uur af.

Bronnen *binnenshuis* zijn basisstations, GSM-toestellen, DECT-toestellen en WLAN-antennes. Wanneer het basisstation gelokaliseerd is binnen een gebouw en ontworpen is om een beperkt gebied te bestralen spreken we van picocellen. Picocellen leveren een meer gerichte dekking dan micro- en macrocellen en worden binnen gebouwen gebruikt waar

de dekking slecht is en waar er een groot aantal gebruikers is. Picocellen worden dus o.a. gebruikt om de cellulaire telefonie (GSM, DECT, UMTS) in stations, kantoorgebouwen, winkelcentra en luchthavens mogelijk te maken. Ook de hoge datarates van WLAN netwerken zorgen ervoor dat het bereik van WLAN-antennes beperkt en gericht is. Het uitgezonden vermogen van antennes in dergelijke picocellen is evenwel beperkt.

3.3 | Tijdspectatief

Op het einde van de 19^e eeuw observeerde Hertz propagatie, reflectie en polarisatie van elektromagnetische golven. Hieropvolgend werd in het begin van de 20^e eeuw voor de eerste maal draadloze radiocommunicatie aangetoond, en even later de microgolven ontdekt en radarsystemen ontwikkeld. Sinds 1994 - 1995 kennen we de snelle expansie van de digitale mobiele telefonie. Steeds meer nieuwe draadloze diensten worden aangeboden, zowel op het vlak van communicatie als omroep.

De microgolfoven zag het daglicht rond 1945 en werd gepatenteerd in 1951. Ovens op industriële schaal werden in de jaren zestig ontworpen. De groei van de industriële microgolffmarkt verliep echter traag door de grote investeringskosten. Daarentegen steeg de verkoop van microgolfovens voor huishoudtoepassingen sterk in de jaren tachtig vanwege de sterke prijsdaling (Thuery, 1992).

3.4 | Impact op natuur

Radarinstallaties kunnen het *oriëntatievermogen van vogels en andere dieren* verstoren. Wat planten betreft, tonen verschillende studies aan dat noch lage, noch hoge vermogens van VHF of UHF micro- of radiogolven, zoals waargenomen rond transmissiestations, geen zichtbaar effect hebben op de vitaliteit van bomen of andere processen (fotosynthese, visuele symptomen ...). Bij stralingsfluxdichtheden vanaf 50 mW/m² worden wel het groeiproces bij korstmossen verhinderd (Eicher, 1997).

4. | Ultraviolette en infrarode straling

Ultraviolette (UV) en infrarode (IR) straling begrenzen het voor ons zichtbare deel van het elektromagnetisch spectrum en kunnen dus niet als dusdanig door het menselijk oog waargenomen worden. Een van de risico's bestaat erin dat hoogvermogen UV- of IR-licht het oog treft en onherstelbare schade aanricht omdat onze afweerreactie logischerwijze uitblijft. Het oog wordt immers niets gewaar tot er een gevoel van verbranding optreedt en er dus reeds weefdschade is opgetreden.

4.1 | Bronnen van UV-straling en lasers

De zon is de belangrijkste natuurlijke producent van UV-straling waarbij volgens de golflengte een indeling gemaakt wordt in UV-C (100 – 280 nm), UV-B (280 – 315 nm) en UV-A (315 – 400 nm). De opkomst van zonnebanken, een gewijzigd zonnegedrag (meer buitenlandse vakantie naar warme bestemmingen) en de afbraak van de beschermende ozonlaag hebben de blootstelling van de mens aan UV-straling doen toenemen. Andere artificiële bronnen van UV-straling zijn: kwikbooglampen, halogeenlampen, fluorescentielampen, elektrische lasapparatuur, waterontsmettingsinstallaties, UV-lampen in biologische cleanrooms en toestellen voor fotochemotherapie.

Een van de spectaculairste eigenschappen van laserstraling is zijn hoge energieconcentratie en kan bijgevolg een reëel gevaar betekenen voor mens en milieu. Lasers worden in toenemende mate gebruikt voor show-doeleinden (naast en in discotheken), voor industriële toepassingen (bv. snijden van metaal en fijne lastechnieken), voor medische toepassingen (bv. chirurgie) en als didactisch hulpmiddel (bv. laserpointer). Laserstraling beslaat een spectrum dat zich uitspreidt van het verre ultraviolet (golflengte 200 - 280 nm) tot het verre infrarood (golflengte 3 µm tot 1 mm), met daartussen het voor ons zichtbare licht. De golflengten van lasers zijn dus doorgaans van de grootteorde van de micrometer, en de uitgezonden vermogens zijn veranderlijk volgens het model en de werkingsvoorwaarden. Lasers kunnen met pulsen of continu werken. Vermogens variëren van enkele honderden

microwatt bij oogchirurgie tot enkele honderden kilowatt bij industriële lasers waarbij spitsvermogens tot meerdere gigawatts kunnen voorkomen.

4.2 | Verbanden met andere thema's

Hoewel op dit ogenblik de gevolgen van UV-straling redelijk onder controle kunnen worden gehouden (door bijvoorbeeld excessieve blootstelling aan UV-bronnen te vermijden) zorgen de aantasting van de ozonlaag en de fotochemische luchtverontreiniging voor toenemende risico's. (zie achtergronddocumenten Fotochemische luchtverontreiniging en Aantasting van de ozonlaag)

De hoeveelheid verschillende vervuilende stoffen of schadelijke factoren waaraan het organisme wordt blootgesteld, zullen samen met een aantal andere factoren (bv. erfelijkheid) de wisselwerking met biologische weefsels bepalen. Het is dus niet verwonderlijk dat de invloed van elektromagnetische golven gekoppeld kan zijn aan andere milieu-invloeden. Zo treden allergische reacties met UV-bestraling op wanneer er bepaalde stoffen in de huid aanwezig zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij antibiotica, niet-steroïdale ontstekingsremmers, zoetstoffen, cosmetica en schimmelwerende stoffen in zepen. Ook kan het schadelijk gevolg van chemische (of fysische) stoffen bij blootstelling aan elektromagnetische velden onder bepaalde voorwaarden groter zijn.

Indicatoren

1. | Extreem lage frequenties (ELF)

1.1 | Bronnen van extreem lage frequenties

Het ELF elektrisch (E-veld) en magnetisch inductieveld (B-veld) worden geproduceerd tijdens de productie (elektriciteitscentrales), het transport (hoogspanningslijnen) en de transformatie (spanningstransformatoren) van elektriciteit enerzijds en door alle elektrische apparaten, toestellen en machines anderzijds. De doelgroepen voor ELF, opgesplitst naar de verschillende categorieën zijn in de volgende niet-exhaustieve lijst opgenomen:

Huishoudens

- Huishoudelijke elektrische apparatuur

Energie

- Elektriciteitsproducenten
- Elektriciteitstransporteurs
- Verdelers van elektriciteit

Handel & diensten

- ziekenhuizen waar ELF-behandelingen worden uitgevoerd

Transport

- Spoorwegmaatschappijen (tractiesystemen)

1.1.1 | Geografische lengte van het hoogspanningsnet (D)

Geografische lengte van het hoogspanningsnet

Tabel 2 en Figuur 3 toont het verloop van de geografische lengte van het boven- en ondergrondse hoogspanningsnet in België voor de periode 1991 - 2002.

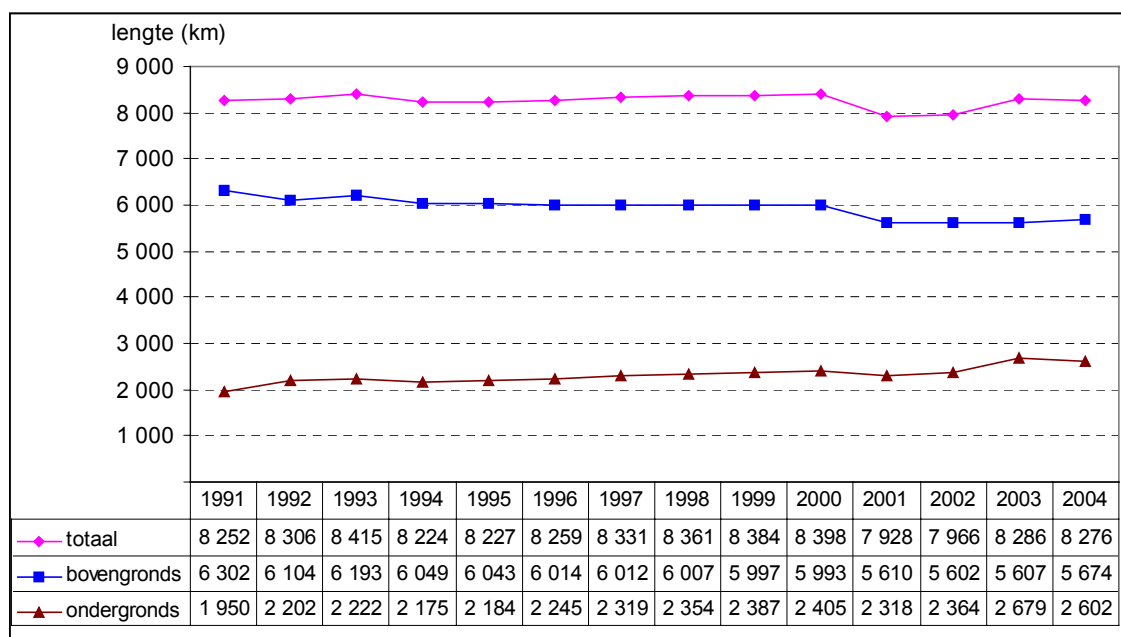
Tabel 2: Geografische lengte hoogspanningsnet per type hoogspanningslijn (België, 1991–2002)

Lijntype (kV)	380 (B)	220* (B)	150 (B)	150 (O)	70 (B)	70 (O)	36 (B)	36 (O)	30 (B)	30(O)
1991	854	266	1 991	119	3 077	124	114	1 707		
1992	854	266	2 023	125	2 847	127	114	1 950		
1993	864	266	2 030	129	2 946	138	87	1 955		
1994	884	266	2 007	136	2 812	149	80	1 890		
1995	884	267	2 007	141	2 806	169	79	1 874		
1996	884	267	2 007	174	2 777	169	79	1 902		
1997	883	267	2 003	192	2 779	188	80	1 939		
1998	883	267	2 006	192	2 772	203	79	1 959		
1999	883	267	2 005	211	2 762	209	80	1 967		
2000	883	267	2 005	225	2 758	210	80	1 970		
2001	883	267	2 005	225	2 455	208		1 885		
2002	883	267	2 008	249	2 444	228		1 887		
2003	884	267	2 010	282	2 418	240	8	1 934	20	223
2004	890	297	2 014	331	2 439	189	8	1 868	26	214

(B): bovengronds ;(O): ondergrondse ;*220 kV-lijnen komen alleen in Wallonië voor

Bron: CPTE (1991-2000), Elia jaarverslag (2002, 2004)

Figuur 3: Geografische lengte van het hoogspanningsnet (België, 1991-2003)



Bron: CPTE (1991-2000), Operationele verslagen Elia (2000 - 2005)

Al vanaf 1991 is er een complete stagnatie van het 380 kV en 220 kV luchtlijnennet, sedert 1997 neemt het 70 kV luchtlijnnet stelselmatig af terwijl het ondergronds proportioneel toeneemt en vanaf 2001 zijn er alleen ondergrondse 36 kV-lijnen bijgekomen. Van de totale lengte van het Belgisch hoogspanningsnet is gemiddeld 56 % in Vlaanderen gelokaliseerd.

1.1.2 | Elektrische toestellen in huishoudens (D)

Het gebruik van huishoudelijke elektrische toestellen veroorzaakt elektrische en magnetische ELF-velden. Veel van deze toestellen maken reeds een geruime tijd deel uit van de standaarduitrusting van een hedendaags huishouden (bv. strijkijzer). Daarnaast zijn er echter ook meer recente toestellen die steeds vaker teruggevonden worden, zoals de microgolfoven,

computer, DVD-speler ... Tabel 3 geeft de penetratiegraad van enkele toestellen weer in de Belgische huishoudens.

Tabel 3: Penetratiegraad (%) van enkele elektrische toestellen in huishoudens (België, 1995-2001)

	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1999	2000	2001
elektrisch fornuis	52,7	56,5	59,3
microgolfoven	54,1	59,0	64,2	68,2	69,5	73,9
strijkijzer	97,4	97,6	96,9
TV-toestel	94,8	95,1	95,9	93,5	93,7	94,8

.. : gegevens niet beschikbaar

Bron: FOD Economie - Afdeling Statistiek, Huishoudbudgetonderzoeken

1.2 | Opwekking van extreem lage frequenties

1.2.1 | Emissieveldbelasting door hoogspanningslijnen (P)

De drukindicator van ELF is het product van de geografische lengte van het hoogspanningsnet en de emissie van het elektrisch (E) en magnetisch veld (H). Omdat er geen representatieve meet- noch rekengegevens beschikbaar zijn over het E-veld dat door het onder- en bovengronds net geproduceerd wordt, wordt verder alleen de magnetische veldbelasting (MVB) behandeld. De totale MVB voor de 70 tot 380 kV-lijnen wordt als volgt bekomen:

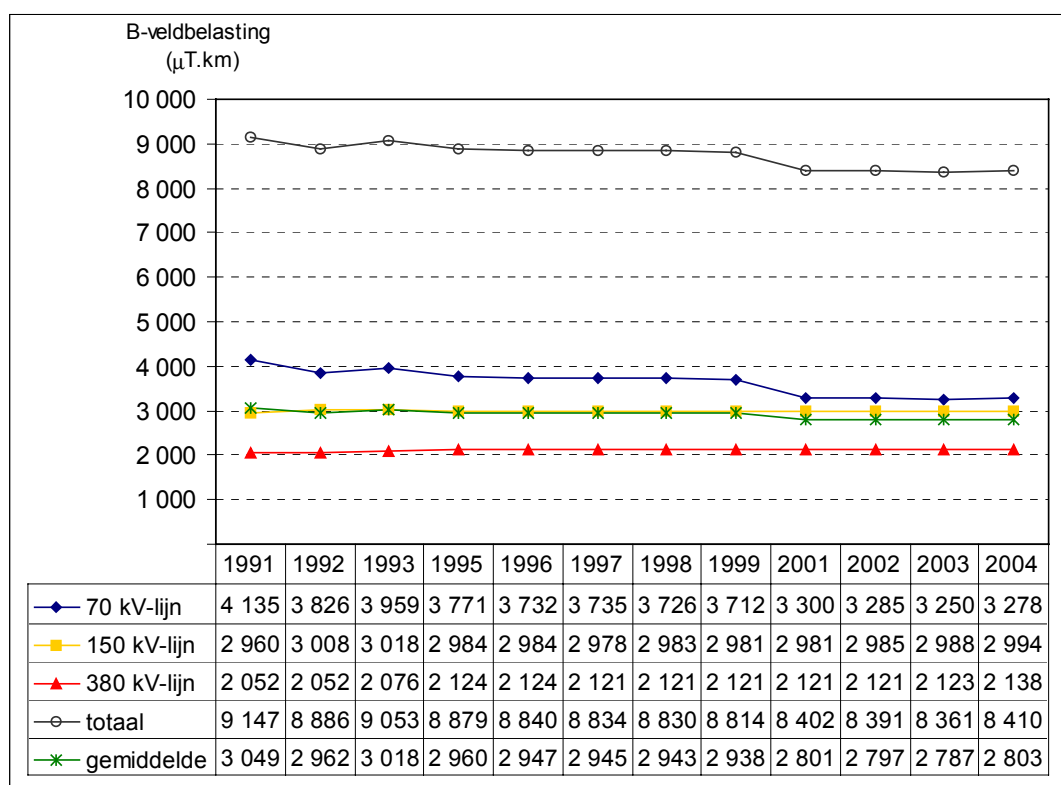
$$MVB_{(\mu T.km)} = \sum_{70kV}^{380kV} (B_{(\mu T)} \times GL_{(km)})$$

met:

- $B_{(\mu T)}$: de magnetische fluxdichtheid in microtesla
- $GL_{(km)}$: de geografische lengte van de 70 tot 380 kV hoogspanningslijnen in km.

Figuur 4 toont het verloop van de individuele, gemiddelde en totale emissiebelasting van het B-veld voor de drie betrokken luchtlijntypes in Vlaanderen (Decat *et al*, 2003).

Figuur 4: Emissiebelasting van het B-veld voor de luchtlijnen (Vlaanderen, 1991-2002)



Bron: Vito (2004)

Aangezien het verloop van de geografische lengte van de 150 en de 380 kV-lijnen vrij constant blijft is het verloop van de B-veldemissie eveneens constant. Daar Elia sedert enige tijd opteert om meer 70 kV-lijnen ondergronds te plaatsen daalt de B-veldbelasting van dit lijntype tussen 2000 en 2002 met ongeveer 420 μT.km. Hierdoor neemt de totale emissiebelasting af van 8 800 μT.km tot 8 391 μT.km. Voor 2003 en 2004 blijft de B-veldemissie eveneens ongeveer constant. In 2003 was er een heel lichte daling, terwijl er in 2004 een lichte stijging was doordat de lengte van de 150 en 380 kV lijnen een beetje toenam.

Energievraag

In 2002 werd door het Elia-net in het totaal 83,937,8 GWh in België opgevraagd. Hoewel dit een stijging is van 0,74 % t.o.v. 2001 blijft dit onder de gemiddelde groei (1,8 %) van de periode 1995-2000 (Elia, jaarverslag 2002). In 2003 steeg dit stijgingspercentage tot 1,02 % en werd er door het Elia-net in het totaal 85 705,2 GWh opgevraagd. Deze toename is echter klein in vergelijking met de stijgingspercentages in de jaren '90 (Elia, jaarverslag 2004).

De elektromagnetische veldsterkte van *hoogspanningslijnen* kan verminderen door:

- gebruik van ondergrondse hoogspanningslijnen met kabels in een *metalen beschermmantel* zodat er geen elektrische velden buiten de mantel overblijven. Uit theoretische berekeningen volgt ook dat het magnetisch veld met een factor 5 kan dalen bij de beste configuratie van de kabels. Het veld is ook veel meer ruimtelijk beperkt rond de kabels. De velden worden veel groter als de fasebalans (verschil van de drie fasen ideaal 120°) van de drie draden wordt verstoord. Er blijken nog technische isolatieproblemen te zijn bij de realisatie van ondergrondse synthetische kabels boven 220 kV (Gecoli, 1992). Ook de kostprijs is veel hoger dan bij luchtlijnen. Zo kost in 1998 een luchtlijn van 150 kV met twee draadstellen 325 000 euro per lopende km terwijl twee ondergrondse kabels 1,65 miljoen euro per lopende km kosten. Een dubbel draadstel van een 380 kV luchtlijn kost ongeveer 775 000 euro per lopende km terwijl bijvoorbeeld de dubbele ondergrondse kabel ongeveer 21,25 miljoen euro per lopende km kost;

- elektrische *energieproductie ter plaatse* (bv. gecombineerde productie van warmte en elektriciteit) zodat het transport gereduceerd kan worden. Voor de zelfproducenten is een betere regeling voor netaansluiting en tarieven nodig.

Om het elektromagnetisch veld van *ELF-apparatuur* te beperken, dient de producent een afdoende afscherming en aarding van apparaten en installaties te voorzien en kan de consument kiezen voor energiezuinige toestellen.

Emissienormen:

Aan *nieuwe elektrische ELF-installaties* wordt in het Ministerieel Besluit van 20-04-1988 een limietwaarde voor een ongestoord elektrisch veld opgewekt in een ongestoord regime opgelegd. De elektrische veldsterkte mag maximaal 5 kV/m in de woonzones of daartoe bestemde zones bedragen en 7 kV/m boven de wegen en 10 kV/m op andere plaatsen

Voor wat de *aarding*en betreffen, wordt bepaald dat alle metalen onderdelen geaard worden die door hun aanwezigheid in het elektrisch veld op een potentiaal worden gebracht die in een bestendig (blijvend) regime een ontladingstroom geeft van 1 mA. (Ministerieel Besluit van 07 mei 1987 (B.S. van 14.05.1987)/gewijzigd bij Ministerieel Besluit van 20 april 1988 (B.S. van 06.05.1988) gewijzigd bij ministerieel besluit van 20 april 1988 (BS. Van 06.05.1988).

1.3 | Aanwezigheid van extreem lage frequenties in de omgeving

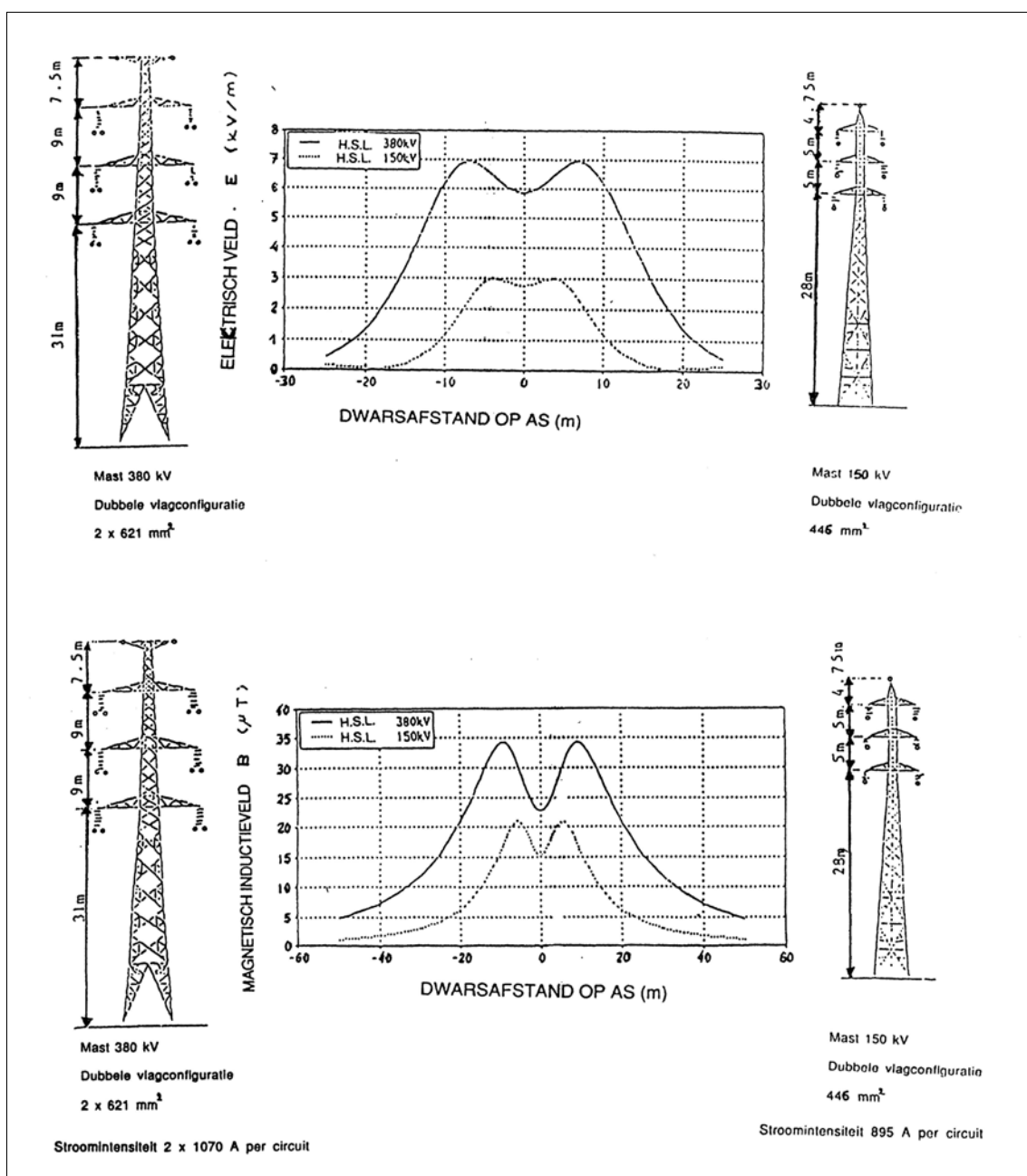
1.3.1 | *Magnetisch veld rond hoogspanningslijnen (S)*

ELF elektrische en magnetische velden van hoogspanningslijnen

Berekeningen tonen aan dat maximale elektrische velden van 7 kV/m en magnetische velden van 28 A/m ($35 \mu\text{T}^3$) onder het laagste punt van een 380 kV lijn met een normale stroomdoorvoer, kunnen waargenomen worden. Figuur 5 geeft de veldsterkten voor een 150 380 kV/m lijn.

³ 1 μT = 0,8 A/m

Figuur 5: Veldverdelingen onder een 150 kV- en een 380 kV- hoogspanningslijn



Alhoewel de berekeningen van het E- en B-veld in Figuur 5 gebaseerd zijn op een maximale stroombelasting van de respectievelijke lijnen, werken ze in de praktijk meestal op een zeker percentage van de maximale stroombelasting.

De Tabel 4, Tabel 5 en Tabel 6 geven respectievelijk een overzicht van het E-veld en B-veld van 70, 150 en 380 kV-lijnen die in Vlaanderen gemeten werden in functie van de afstand, de effectieve spanning ($U(\text{eff})$), de stroombelasting ($I(\text{A})$) van de lijn, de hoogte van de geleiders en de weersomstandigheden. De meethoogte bedroeg steeds 1,5 m.

Tabel 4: E- en B-veld gemeten bij een 70 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)

Transversale afstand tot lijn (m)	E-veld (V/m)	U(eff) (kV)	B-veld (μ T)	I (A)
0	530	71,3	1,54	130
10	115,5	71,3	0,75	126
15	24,6	71,2	0,48	126
20	14,9	71,2	0,33	118
30	15	71,3	0,20	130
40	10,4	71,4	0,15	130
50	7,5	71,3	0,12	122
60	5,6	71,4	0,09	118

Hoogte van lijngeleiders: onderste geleider : 9,8 m, middelste geleider: 13,5 m, bovenste geleider: 16,8 m;
 Weersomstandigheden: zonnig & droog, wind: 3 à 4 beaufort, temperatuur: 20°C

Bron: Vito (2003)

Tabel 5: E- en B-veld gemeten bij een 150 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)

Transversale afstand tot lijn (m)	E-veld (V/m)	U(eff) (kV)	B-veld (μ T)	I (A)
0	1594	157,5	3,20	400
10	690	157,5	2,25	397
20	161	157,6	1,45	400
25	39	157,6	1,17	400
30	30	157,6	0,82	375
40	58	157,6	0,63	396
50	21	157,8	0,57	403
55	-	-	0,55	408

Hoogte van lijngeleiders: onderste geleider : 19,5 m, middelste geleider: 26,8 m, bovenste geleider: 33,1 m;
 Weersomstandigheden: zonnig en droog, wind: 1 - 2 beaufort, temperatuur: 24°C

Bron: Vito (2003)

Tabel 6: E- en B-veld gemeten bij een 380 kV-lijn (Vlaanderen, 2003)

Transversale afstand tot lijn (m)	E-veld (V/m)	U(eff) (kV)	B-veld (μ T)	I(A)
0	6 400	400	1,95	135
10	3 200	399,5	1,05	136
20	770	399,5	0,65	136
40	180	399,5	0,24	141
60	170	399,5	0,13	150
80	122	399	0,11	152
100	85	399	0,09	154

Hoogte van lijngeleiders: onderste geleider: 14,2 m, middelste geleider: 26,5 m, bovenste geleider: 39,0 m;
 Weersomstandigheden: zonnig en droog, wind: 1 - 2 beaufort, temperatuur: 24° C

Bron: Vito (2003)

Magnetisch veld in woningen onder hoogspanningslijnen in België

Tabel 7 geeft de statistieken die bekomen worden bij langdurige registratie van het B-veld in woningen onder de verschillende types hoogspanningslijnen.

Tabel 7: B-veld gedurende minimum 1 maand geregistreerd in woningen onder Belgische hoogspanningslijnen (2002)

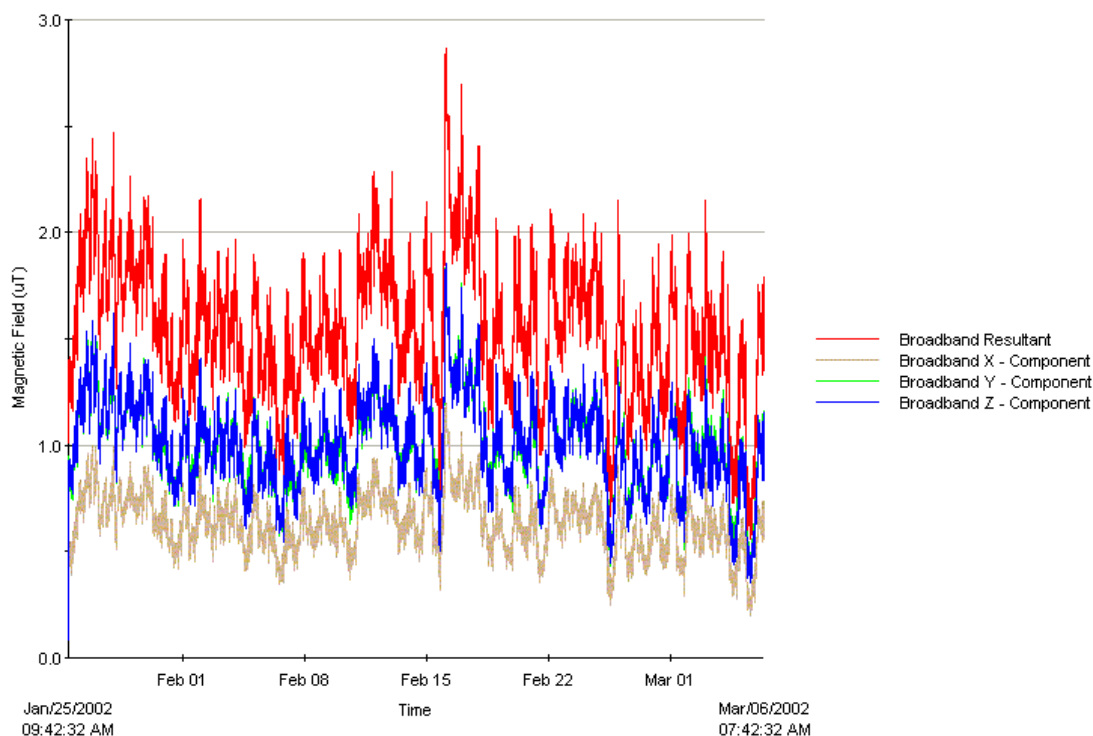
Lijntype (kV)	Registratieperiode van - tot	Minimum (μ T)	Maximum (μ T)	Gemiddelde \pm stdev	Mediaan
70	30/01/02 – 19/03/02	0,01	1,85	1,00 \pm 0,25	1,00
150	17/05/02 – 27/06/02	0,05	1,31	0,75 \pm 0,18	0,74
220	08/03/02 – 23/04/02	0,15	2,15	1,00 \pm 0,40	1,00
380	25/01/02 – 06/03/02	0,55	3,00	1,50 \pm 0,20	1,50

Bron: Vito (2002)

Omdat de hoogspanningslijnen meestal niet op hun maximale capaciteit werken is de grootste blootstelling niet altijd geassocieerd met de hoogste spanning (380 kV).

Figuur 6 toont het B-veld dat in de periode van 25/02/02 tot 06/03/02 in een woning onder een 380 kV-lijn in Vlaanderen geregistreerd werd (Decat, 2002). Door de individuele mobiliteit kan de individuele blootstelling 30 tot 50 % lager liggen dan de blootstelling in de woning onder de hoogspanningslijn waar de persoon woont (Decat, 2001).

Figuur 6: B-veld geregistreerd in een woning onder een 380 kV-lijn (2002)



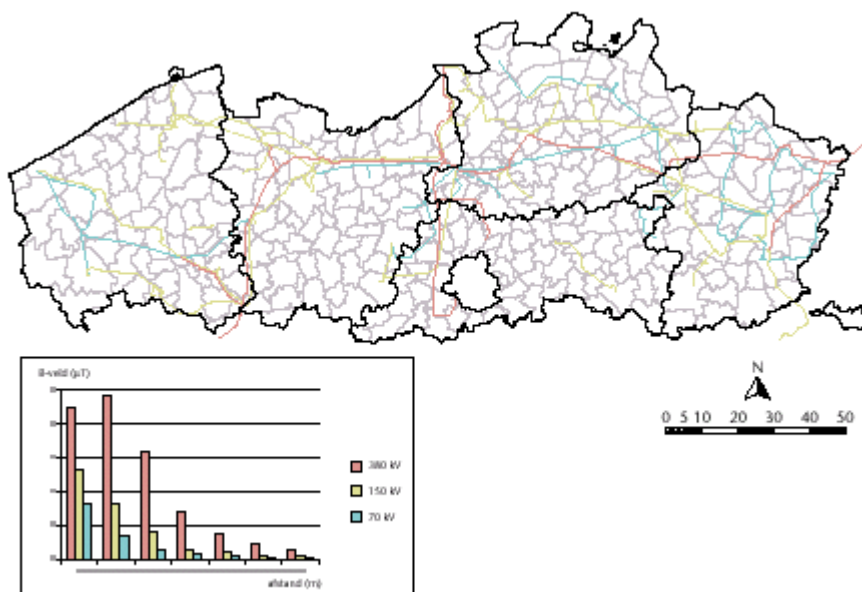
Bron: Vito (2002)

Magnetisch veld door hoogspanningslijnen in Vlaanderen

Er zijn enkel representatieve meet- en rekengegevens beschikbaar van het magnetisch veld van luchtlijnen. Er werd een GIS-model ontwikkeld dat een schatting maakt van de milieudruk veroorzaakt door de verschillende types hoogspanningslijnen. Tabel 8 en Figuur 7 tonen het 70, 150 en 380 kV luchtlijnnennet in Vlaanderen en de berekende sterkte van het B-veld i.f.v. de afstand tot de lijn voor normaal voorkomende gemiddelde stroombelastingen en lijnhoogtes.

Enerzijds is de sterkte van het B-veld van alle luchtlijnen in Vlaanderen beduidend zwakker dan de maximaal toelaatbare waarde van 100 µT die voor de algemene bevolking in de ICNIRP-richtlijn (1998) voorgesteld wordt. Maar anderzijds is de veldsterkte binnen een bepaalde afstand tot luchtlijnen groter dan 0,4 µT (zie 1.4.2 Bepaling van de 0,4 µT contour).

Figuur 7: Luchtlijnnet van Vlaanderen met B-veld in functie van de afstand tot de respectievelijke lijnen (Vlaanderen, 2003)



Bron: Vito (2003)

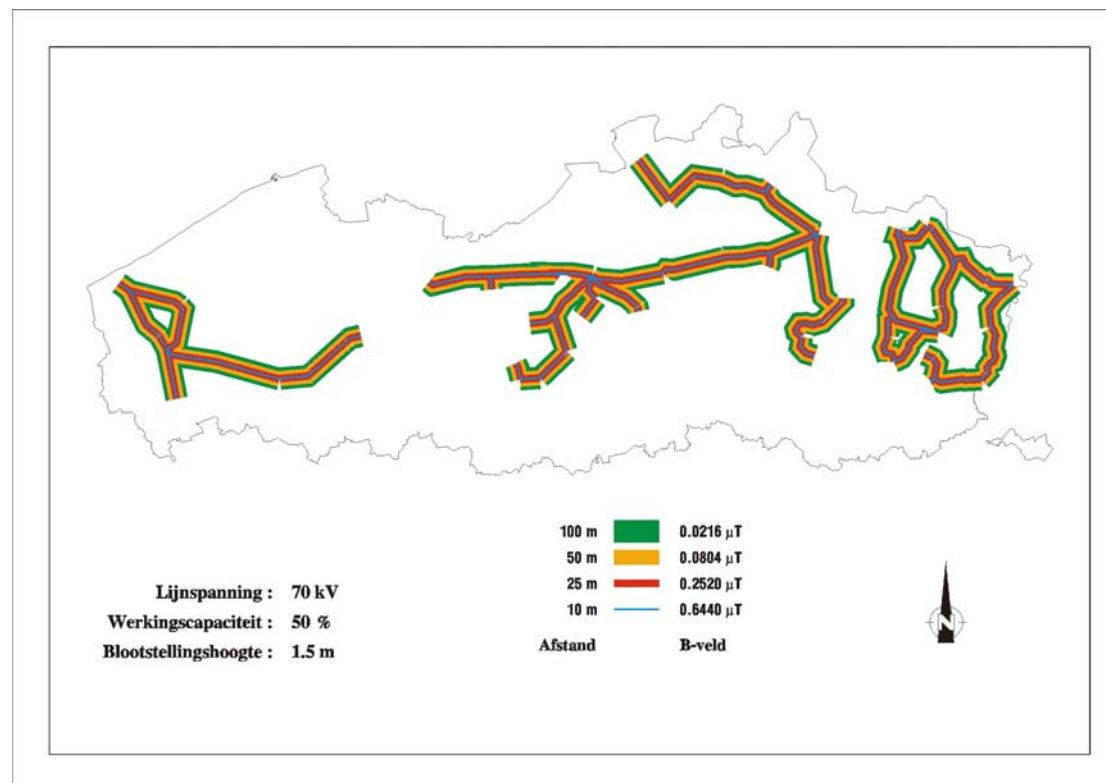
Tabel 8: B-veld in functie van de afstand tot de verschillende types luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)

afstand tot hoogspanningslijn (m)	luchtlijntype		
	380 kV	150 kV	70 kV
0	4,4	2,6	1,6
10	4,8	1,6	0,7
25	3,1	0,8	0,3
50	1,4	0,3	0,1
60	0,7	0,2	0,1
80	0,4	0,1	0,1
100	0,3	0,1	0,0

Bron: Decat *et al* (2003)

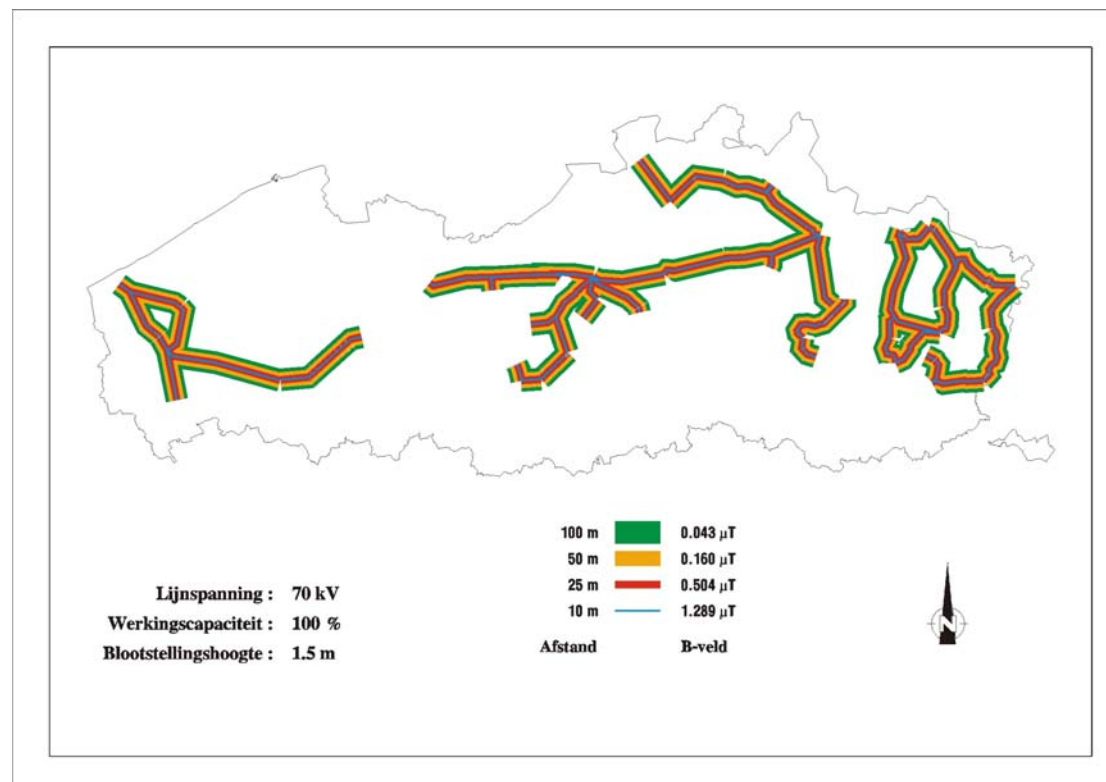
De Figuur 8 t.e.m. Figuur 13 tonen de GIS-kaarten van het B-veld (Decat *et al.*, 2003) i.f.v. de afstand tot de 70, 150 en 380 kV-lijnen in Vlaanderen en dit telkens voor een gemiddelde werkingscapaciteit (wkc 50 %) van de lijnen en een worst-case situatie (wkc 100 %). Voor de berekening van het B-veld werd per lijntype uitgegaan van een gemiddelde hoogte van de onderste geleider tot het maaiveld. De blootstellingshoogte bedraagt op elke afstand van de lijn 1,5 m.

Figuur 8: B-veldemissie van de 70 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)



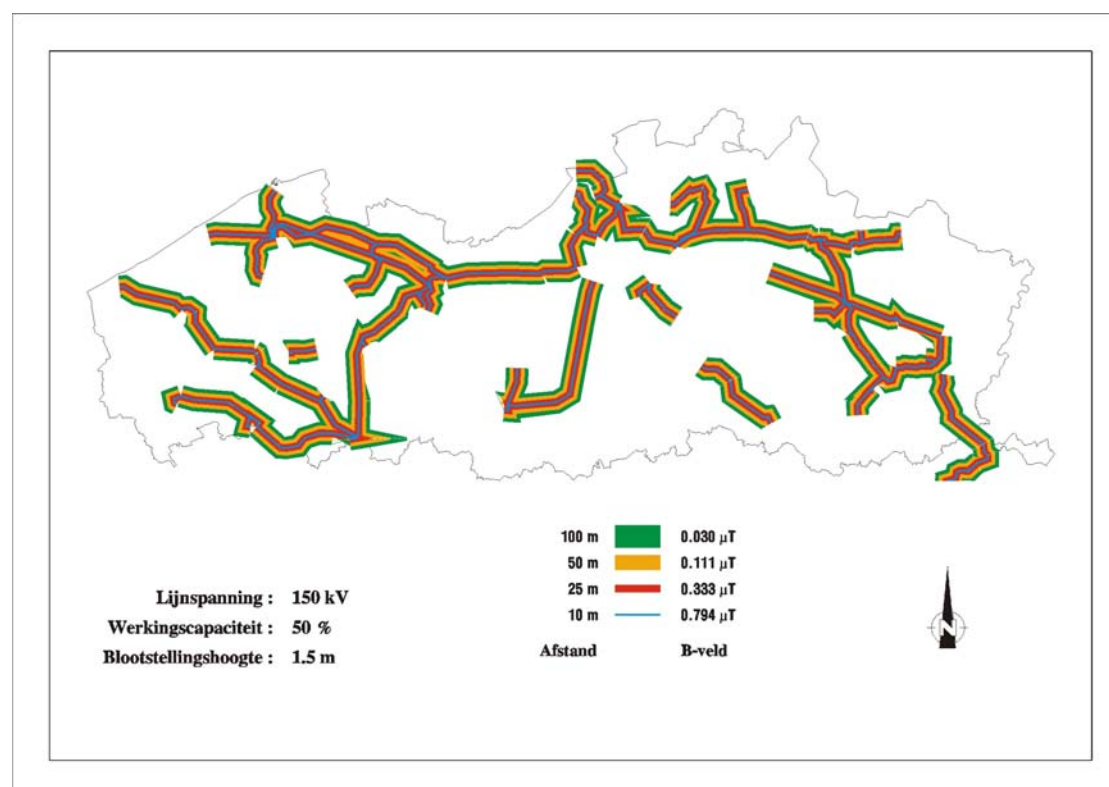
Bron: Decat *et al.* (2003)

Figuur 9: B-veldemissie van de 70 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)



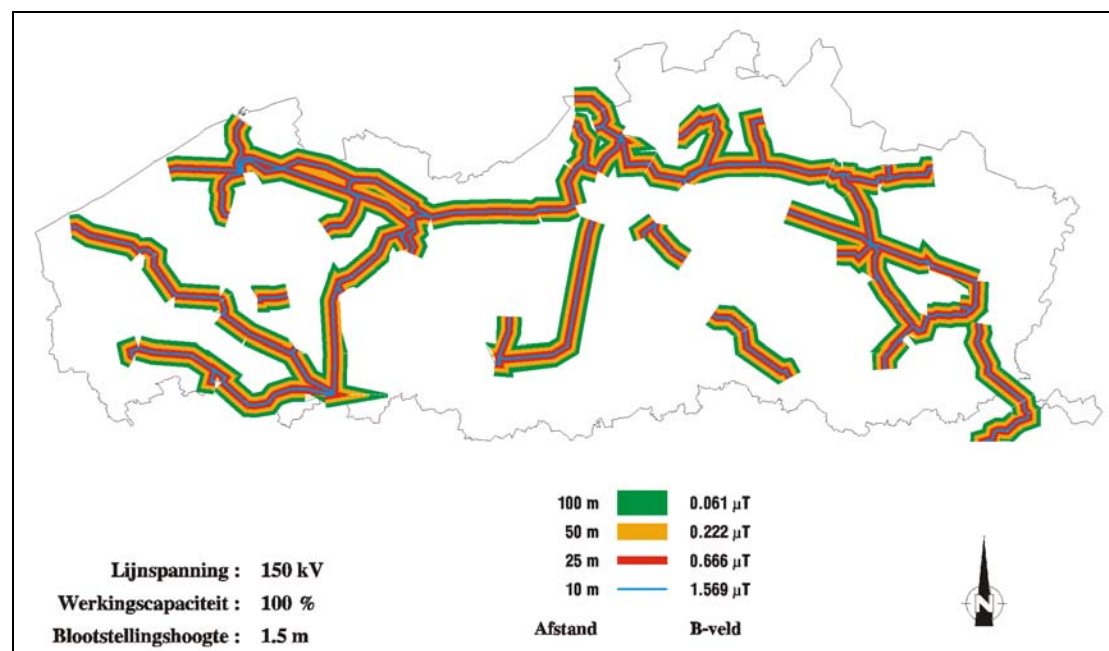
Bron: Decat *et al.* (2003)

Figuur 10: B-veldemissie van de 150 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)



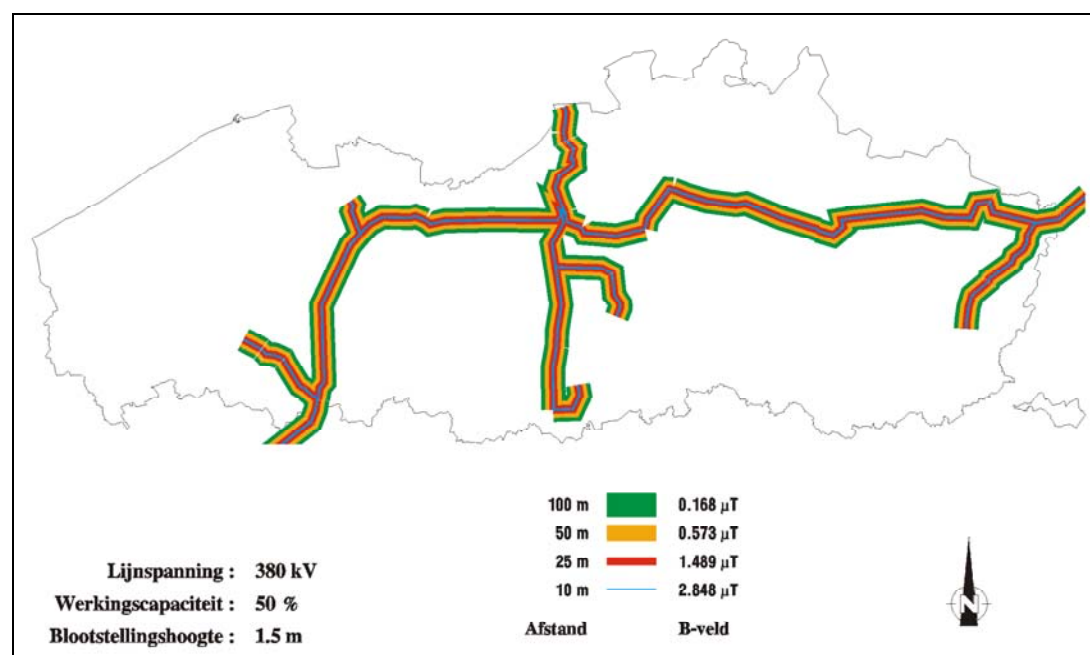
Bron: Decat *et al.* (2003)

Figuur 11: B-veldemissie van de 150 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)



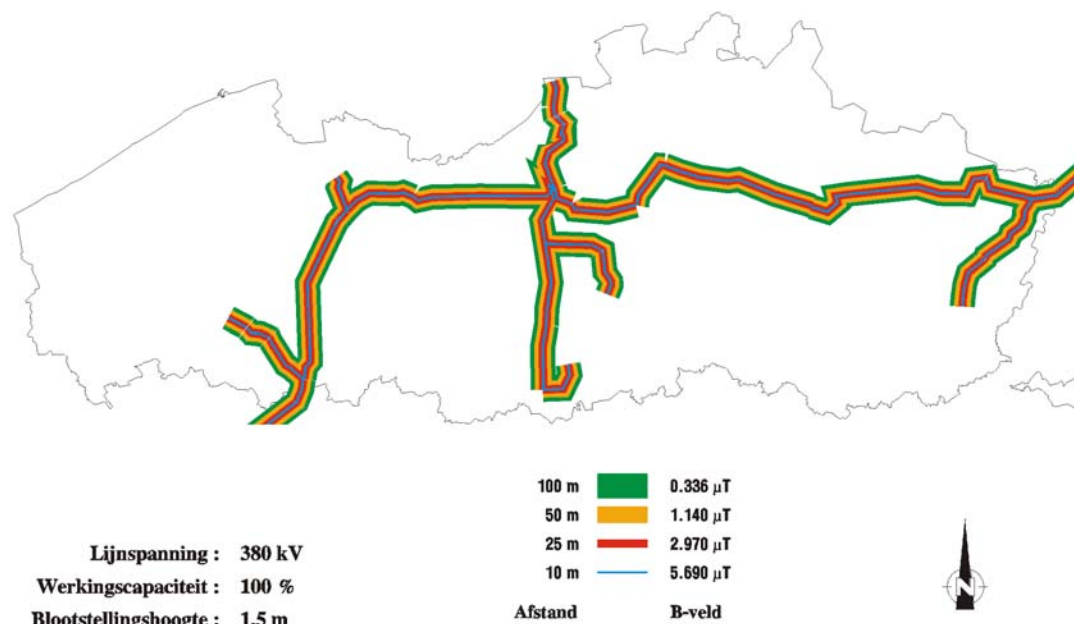
Bron: Decat *et al.* (2003)

Figuur 12: B-veldemissie van de 380 kV-lijnen bij een werkingscapaciteit van 50 % (Vlaanderen, 2002)



Bron: Decat *et al.* (2003)

Figuur 13: B-veldemissie van de 380 kV-lijnen in Vlaanderen bij een werkingscapaciteit van 100 % (Vlaanderen, 2002)



Bron: Decat *et al.* (2003)

Ondergrondse hoogspanningskabels

Metingen van magnetische velden op ondergrondse hoogspanningskabels werden in België nog niet uitgevoerd, hierover bestaan slechts enkele modelesimulaties die echter niet. t.o.v. 'in

situ' metingen geverifieerd werden. Omdat ondergrondse kabels slechts op ongeveer 1 m diepte gelegd worden en luchtlijnen afhankelijk van de nominale spanning op minimum op een tiental meter boven de bodem hangen, is het niet uitgesloten dat omgevingsbelasting veroorzaakt door het B-veld van ondergrondse kabels groter is dan die van luchtlijnen. Het elektrisch veld van ondergrondse kabels wordt volledig door de omliggende aarde geblokkeerd.

1.3.2 | *ELF magnetisch veld van huishoudelijke elektrische apparaten (S)*

Omdat de spanning (220 V) van de huishoudelijke toestellen te zwak is om een elektrisch veld van enige betekenis te genereren wordt hier enkel het magnetisch inductieveld (B-veld) behandeld. Tabel 9 geeft een overzicht van de B-veld gemeten op een afstand van 5, 30 en 50 cm van enkele huishoudelijke elektrische apparaten.

Tabel 9: B-veld (μT) van enkele huishoudelijke elektrische apparaten

Apparaat	Afstand tot bron		
	5 cm	30 cm	50 cm
bijzetradiator	5,5	0,4	0,2
broodrooster	5	0,4	0,07
dampkap	6	1	0,5
droogzwierder	3	0,4	..
elektrisch fornuis	57	2,5	0,5
groentenmixer	70	10	..
haardroger	18	1	0,2
microgolfoven	35	2,5	0,5
overheadprojector	30	2	0,5
printer	0,25	0,05	0,01
scheerapparaat	10	2	..
strijkijzer	6	0,16	..
TV-toestel	2	0,25	0,06

..: gegevens niet beschikbaar

Bron: Vito (2001)

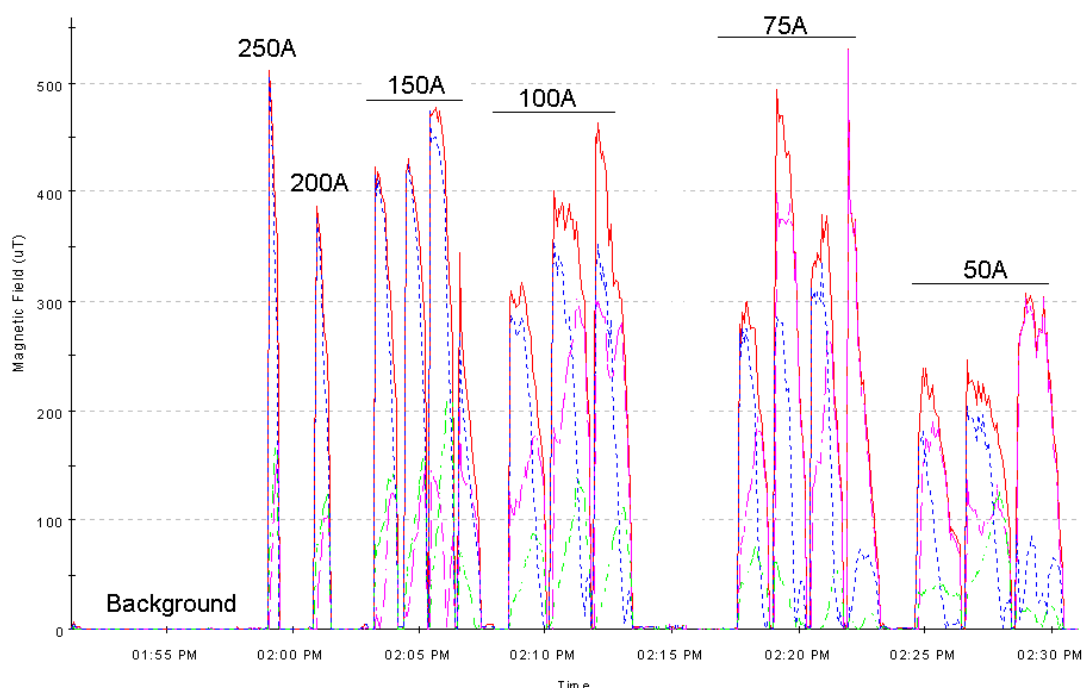
Het magnetisch veld van een *elektrische vloerverwarming* dat tijdens de maximale stroomtoevoer op vloerhoogte gemeten werd bedroeg $4,5 \mu\text{T}$, op tafelhoogte (75 cm) was dit nog $0,45 \mu\text{T}$ en wanneer de stroom uitgeschakeld werd viel het magnetisch veld terug op backgroundniveau ($0,01 \mu\text{T}$) (Decat, 1998).

Op 1 cm van een *elektrisch deken* bedraagt het magnetisch veld $10 \mu\text{T}$ (Hydro Québec, 1996). Het B-veld dat ongeveer gedurende 72 uren op de matras van een vrij recent *waterbed* geregistreerd werd schommelde van 0 tot $0,15 \mu\text{T}$, de gemiddelde veldsterkte was $(0,05 \pm 0,02) \mu\text{T}$ (Decat, 2002).

Noteren we ook dat de vrij recente *inductiefornuizen* waarmee sneller en zuiniger gekookt kan worden eveneens een magnetisch veld genereren. Het principe van deze fornuizen is gebaseerd op de inductie van wervelstromen in kookpotten van materiaal met een hoge permeabiliteit (bv. roestvrij staal). De sterkte van de velden veroorzaakt door de netvoeding en in het lage kHz-frequentiegebied (door de inductiewerking van het fornuis) zijn op afstanden groter dan 0,5 m kleiner dan $1,25 \mu\text{T}$ (1 A/m). Dichtbij het fornuis (0,1 m afstand) werden waarden gevonden tot ongeveer $12,5 \mu\text{T}$ (10 A/m).

De *AC-lasapparaten* die thuis, in het onderwijs en de industrie gebruikt worden genereren sterke B-velden. Figuur 14 illustreert het B-veld waaraan lassers, afhankelijk van de stroom van de laspost, tijdens een lassessie kunnen blootgesteld worden.

Figuur 14: Blootstelling van lassers aan het B-veld bij verschillende stroombelasting



Bron: Vito (2002)

Deze B-velden, waaraan ook de jeugdige lasser in het onderwijs blootgesteld wordt, zijn substantieel sterker dan die waaraan men blootgesteld wordt bij het wonen onder hoogspanningslijnen. Een lasleerling die gemiddeld 10 uur per week last (in de opleiding lastechniek wordt tot 18 uur per week laspraktijk gegeven), ontvangt in 12 dagen dezelfde B-veld dosis als iemand die, bijvoorbeeld in de nabijheid van een hoogspanningslijn, gedurende 1 jaar continu aan een B-veld van $0,4 \mu\text{T}$ (zie 1.4.2 Bepaling van de $0,4 \mu\text{T}$ -contour) blootgesteld wordt (Decat *et al.*, 2002). Er is geen duidelijkheid of de blootstelling van de lasleerling moet getoetst worden aan de normen/richtlijnen ter bescherming van het algemene publiek of van de beroepsbevolking. De blootstellingsnormen of -richtlijnen (ICNIRP, 1998) voor het algemene publiek zijn immers vijf keer strenger ($100 \mu\text{T}$) dan die voor de beroepsbevolking ($500 \mu\text{T}$). Figuur 14 toont immers aan dat de piek- (varieert tussen 250 en $530 \mu\text{T}$) en de tijdgeïntegreerde gemiddelde blootstelling tijdens het lassen respectievelijk groter zijn dan $100 \mu\text{T}$ aanbevolen voor het algemene publiek (ICNIRP, 1998). Tot nu toe zijn er geen gegevens bekend over mogelijke gezondheidseffecten van de blootstelling van de student lasser aan het ELF B-veld tijdens zijn opleiding.

1.3.3 | Doelstellingen

Om de algemene en ook de beroepsbevolking te beschermen tegen verhoogde blootstellingen aan elektrische en magnetische velden beveelt de richtlijn van de 'International Commission on Non-Ionising Radiation Protection' (ICNIRP) een blootstellingsgrens aan van 5 kV/m voor het elektrisch veld en $100 \mu\text{T}$ voor het magnetisch veld voor de algemene bevolking. Dit houdt een gehele lichaamsblootstelling in waaraan de algemene bevolking gedurende 24 uur per dag mag blootgesteld worden. Voor de beroepsbevolking is de richtlijn vijfmaal toleranter. Voor wat het elektrisch veld betreft heeft België de richtlijn i.v.m. het elektrisch veld van ICNIRP overgenomen, voor wat het magnetisch veld betreft bestaat er geen Belgische regelgeving.

Men kan volgende doelstellingen voorstellen:

- Toepassen van blootstellingspreventie in het kader van de ruimtelijke ordening enerzijds en de lasopleiding in het onderwijs anderzijds. In Nederland wordt in het kader van de ruimtelijke ordening overwogen om het $0,4 \mu\text{T}$ voorzorgprincipe toe te passen bij het

ontwerp van nieuwbouwwoningen (RIVM, 2003). Dit heeft tot doel de blootstelling van de bevolking aan het B-veld van luchtlijnen zoveel mogelijk te reduceren.

- Verwerven van representatieve meetgegevens van het B-veld van de ondergrondse hoogspanningslijnen

1.3.4 | **Contactstroom**

Als een lichaam zich in een wisselend elektrisch veld bevindt of contact maakt met een object dat onder spanning staat, kan een elektrische stroom door het lichaam stromen, de contactstroom. De basisbeperkingen die voor contactstroom en de geïnduceerde stroom voor een 50 Hz veld (CENELEC, 1995a) van belang zijn worden in Tabel 10 gegeven. Deze grootheden zijn niet gemakkelijk te bepalen.

Tabel 10: Basisbeperkingen voor de geïnduceerde stroomdichtheden en contactstroom op een frequentie van 50 Hz

	rms geïnduceerde contactstroom [mA]	rms contactstroom [mA]
f=50 Hz	4	1,5

Bron: CENELEC (1995a)

1.3.5 | **Maatregelen**

Algemene maatregelen om de (risico's van) blootstelling te verminderen zijn:

- toezicht op blootstelling met geijkte meetsystemen;
- medisch toezicht aangepast aan de aard en de omvang van de blootstellingsrisico's (bv. uitgebreid oogonderzoek waar staarvorming een beroepsrisico vormt);
- vorming en periodieke bijscholing van personeel (bv. via een regelmatige voordrachtencyclus georganiseerd in het bedrijf).

De blootstelling aan de elektromagnetische straling van hoogspanningsleidingen kan beperkt worden door:

- toepassing van blootstellingspreventie in het kader van de *ruimtelijke ordening* zodat bij de inplantingsplannen van hoogspanningsleidingen in Vlaanderen, zoals in Nederland, rekening gehouden wordt met de 0,4 μ T risicocontour.
- aarding van de metalen delen van gebouwen in de buurt van de hoogspanningsleidingen (regel opgelegd door de wet voor alle constructies ongeacht hun omgeving AREI Art. 72 en 73).
- het aanmoedigen van het privé 'prudent avoidance principe' of voorzorgsbeginsel door bv. het verder af plaatsen van de elektromagnetisch bron van een persoon of omgekeerd. Het 'prudent avoidance' werd door de overheid nog niet geïmplementeerd omdat:
 - geen oorzakelijk verband tussen elektromagnetische velden en potentiële gezondheidseffecten bewezen is;
 - een grote onzekerheid bestaat over de omvang en de specificiteit van het risico: het risico kan klein zijn en zich uitstrekken over een grote bevolkingsgroep of groot zijn maar zich slechts beperken tot een kleine maar gevoelige bevolkingsgroep;
 - men geen idee heeft van eventuele additieve of synergistische effecten van gelijktijdige blootstelling aan elektromagnetische velden en andere fysische of chemische agentia van ons leef- of werkmilieu;
 - de kosten en de kostefficiëntie ervan moeilijk te ramen zijn.

Ondanks deze moeilijkheden doen bepaalde buitenlandse overheden inspanningen om elektromagnetische velden te reduceren indien ze sterk afwijken van de veldsterkten die normaal in onze leefomgeving voorkomen.

1.4 | Gevolgen van extreem lage frequenties voor de mens

1.4.1 | Epidemiologisch en experimenteel literatuuroverzicht (I)

Kortetermijneffecten van 50 Hz elektrische en magnetische velden worden veroorzaakt door directe inwerking via elektrische of magnetische velden op het blootgestelde organisme. Magnetische velden penetreren in het lichaam en kunnen er elektrische stromen veroorzaken. De lineaire *stroominductie in het lichaam* wordt uitgedrukt in mA en de lusvormige of stroomdichtheid in mA/m². Deze parameters kunnen niet rechtstreeks in het lichaam gemeten worden, daarom wordt respectievelijk het elektrisch en magnetisch veld gemeten. De geïnduceerde lichaamsstroom door het elektrisch veld wordt in de nek geschat op gemiddeld 5 µA per kV/m en ter hoogte van de voeten 15 µA per kV/m. Het magnetisch veld induceert in het hoofd, de romp en de benen van het blootgestelde individu een gemiddelde lusstroom van 4 µA/m² per µT. Wanneer deze stromen voldoende sterk zijn (dus het externe 50 Hz veld voldoende groot is) kan dit leiden tot stimulatie van zenuwen en spieren. Hierdoor kunnen onwillekeurige spierbewegingen en spierverkrampingen ontstaan. De ernstigste effecten, die levensbedreigend kunnen zijn, zijn hartritmestoornissen. Voor hartkamerfibrillatie is de minimaal noodzakelijke stroomdichtheid ongeveer 2,5 A/m². Deze stroomdichtheid kan enkel door heel sterke magnetische velden opgewekt worden die in de leefomgeving nooit voorkomen. Het belangrijkste effect bij lagere stroomdichtheden is het *voorkomen van fosfenen*. Dit zijn lichtvlekken of flitsen die waargenomen worden als gevolg van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Fosfenen kunnen ook optreden door druk op de oogbol. Deze verschijnselen verdwijnen vanzelf na het wegnemen van de oorzakelijke factor in het algemeen binnen het uur. De minimale stroomdichtheid om fosfenen op te wekken ligt rond de 8 mA/m².

In meerdere onderzoeken zijn *biologische kortetermijneffecten* bestudeerd die niet direct te maken hebben met zenuw- of spierstimulatie. Zo werden effecten op de slaap, de psychologische performantie, het cardiovasculair, hematologisch en immunologisch systeem bestudeerd. Effecten konden niet op consistente wijze worden vastgesteld. In diverse studies werd het effect op melatonine (een door de epifyse geproduceerd hormoon dat o.a. een rol speelt in het bioritme en in immunologische reacties) bestudeerd. In studies met beroepsmatige blootstelling werden wijzigingen in de urinaire excretie van melatonine metabolieten vastgesteld. In laboratoriumonderzoeken kon dit niet altijd worden teruggevonden. Het is nog onduidelijk of 50 Hz velden een invloed hebben op melatonine en wat dit voor gevolg heeft voor de menselijke gezondheid.

Er bestaan ook *indirecte kortetermijneffecten*. Deze treden op wanneer ten gevolge van blootstelling aan een elektrisch veld een potentiaalverschil ontstaat tussen een organisme en een groot object. Dit kan het geval zijn wanneer een dergelijk object niet geaard is. Het voorwerp gedraagt zich dan als een condensator en er zal bij aanraking door het organisme dat wel geaard is, een ontladingsstroom lopen door het organisme. Hier is geen sprake van negatieve gevolgen voor de gezondheid, maar wel van hinder (voelen van een elektrische schok) en schrikreactie.

Ribbel- of deukdijen (Lipoatrophia semicircularis)

Lipoatrophia semicircularis, beter bekend als deuk- of ribbeldijen, is een fenomeen dat zich al ongeveer tien jaar in ons land voordoet bij sommige bedienden die veel tijd doorbrengen in een modern uitgerust bureau. Verschillende hypothesen en theorieën, waaronder elektromagnetische golven in een complex samenspel met andere omgevingsfactoren, werden geformuleerd aangaande de etiologie van dit fenomeen. Deukdijen manifesteren zich klinisch als een deuk in de dij, op 72 cm van de grond gemeten met het schoeisel aan, ten gevolge van het verdwijnen van het onderhuids vetweefsel op die plaats, in hoofdzaak ter hoogte van de voorzijde van de dij. De lengte van de deuken is zeer verschillend en varieert van drie tot twintig centimeter. De breedte is tussen een halve centimeter en vijf centimeter en de diepte kan tot zes millimeter bedragen. Bovenop de deuk blijft de huid (epidermis) meestal intact, de spieren behouden hun normale volume en ook de lichaamsbeharing is onaangetaast. Sporadisch komen atypische deuken voor ter hoogte van de arm, knie of meerdere deuken boven elkaar. Bijna steeds treedt het fenomeen voor de eerste maal op ongeveer twee

maanden na ingebruikname van een nieuwe kantooromgeving. In België alleen al meldden meer dan 35 bedrijven dat er deukdijen vastgesteld werden bij hun personeel. De meest getroffen personen zijn vrouwen, maar in 10 % van de gevallen doen de klachten zich bij mannen voor. Vermoedelijk speelt de verschillende vetstructuur ter hoogte van de benen tussen vrouwen en mannen hierin een rol, maar er zijn ook individuele factoren die de gevoeligheid bepalen. Statistisch gezien brengen ze ook meer tijd door achter hun bureau dan hun mannelijke collega's. Aanvankelijk worden er gerelateerde klachten bij vermeld als irritatie, moeheid of zwaarte in de benen, maar deze verdwijnen na enige tijd; de deuk verdwijnt echter niet. Buiten het soms erg storend esthetisch aspect zijn er tot op heden geen geassocieerde aandoeningen of symptomen ontdekt. Momenteel wijzen wetenschappelijke studies eerder in de richting van een elektromagnetische oorzaak, aangezien de verschillende hypothesen aangaande de zithouding en hiermee gerelateerde druk, het gebruik van de bureelstoel, ergonomie en het temperatuursverschil tussen het bureelblad en de dij niet hard konden gemaakt worden. Volgens deze hypothese (Maes et al, 2003) zouden bureelbladen elektrostatisch geladen worden, o.a. via de computer, en bij contact met het dijbeen ontladen of vice versa. De onderhuidse vetcellen zouden voor dergelijke herhaaldelijke ontladingen erg gevoelig zijn wat een zekere atrofieëring of weggwijning tot gevolg zou hebben.

Epidemiologisch onderzoek

Sinds het begin van de jaren '80 zijn tientallen *epidemiologische studies* uitgevoerd. De meeste studies onderzoeken de eventuele associatie met diverse types kanker, maar ook de associatie met andere ziekten werd onderzocht. Ongeveer tweederden van de onderzoeken gaan over beroepsmatige blootstelling. De andere studies onderzoeken het effect van wonen in de nabijheid in hoogspanningslijnen. Enkele studies gaan over het gebruik van elektrische toestellen.

In de studies bij werknemers (*beroepsmatige blootstelling*) die werken in de nabijheid van elektriciteitsgeleiders heeft men vooral het optreden van leukemie en hersenkanker bestudeerd. Er zijn ook onderzoeken gebeurd naar de relatie met lymfomen, hypofysetumoren, melanoma, borstkanker bij de man, borstkanker bij de vrouw en kankers bij de kinderen van blootgestelde werknemers. Kheifets *et al.* (1995) combineerde in een meta-analyse de resultaten van 29 onderzoeken naar de mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling aan 50 Hz magnetische velden en het optreden van hersentumoren. De uitkomst was een kleine maar statistisch significante verhoging van het risico (relatief risico: 1,2; 95%-betrouwbaarheidsinterval: 1,1 - 1,3). Enkele onderzoeken leverden voldoende informatie voor een dosis-responsanalyse, maar een dosis-responsrelatie is niet gevonden.

Een meta-analyse van onderzoeken naar een mogelijke associatie tussen *beroepsmatige blootstelling* aan ELF velden en het optreden van leukemie laat eenzelfde beeld zien (Kheifets *et al.*, 1997). Ook in dit geval leverde het combineren van de resultaten van 42 beschikbare onderzoeken van voldoende kwaliteit aanwijzingen op voor het bestaan van een licht maar statistisch significant verhoogd risico (relatief risico 1,2; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-1,3). Bij uitsplitsing van de gegevens naar verschillende vormen van leukemie bleek het relatieve risico voor chronisch lymfatische leukemie het grootst te zijn (relatief risico 1,6; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-2,2). Er zijn echter geen aanwijzingen gevonden voor het bestaan van een dosis-responsrelatie.

Een belangrijke beperking bij beide meta-analyses is, dat in de verschillende onderzoeken de blootstelling doorgaans op verschillende wijzen is gecategoriseerd. In een recente review van het National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS, 1999) besloot men dat er enkel voor chronisch lymfocytair leukemie een zwakke evidentie bestaat voor een associatie met beroepsmatige blootstelling.

Sinds de publicatie door Wertheimer & Leeper in 1979 van een studie waaruit bleek dat *kinderen* die wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (*residentiële blootstelling*) meer kans hebben *leukemie* (en andere kankers) te krijgen dan kinderen die er niet wonen, werden zowat overal ter wereld talrijke andere epidemiologische studies uitgevoerd. Sommige studies bevestigden de Wertheimer & Leeper gegevens terwijl andere geen verband tussen een

verhoogd aantal kankers en het wonen nabij hoogspanningslijnen aantonen (Verschaeve, 1995). In de meeste studies werd leukemie bestudeerd, wat een verzamelnaam is voor verschillende ziektes die soms weinig met elkaar te maken hebben. De aanwezigheid van sommige chemische stoffen kan de gevolgen van niet-ioniserende straling versterken, wat kan verklaren waarom de ene persoon geen hinder ondervindt van een bepaalde blootstelling terwijl een ander persoon wel hinder ondervindt. Ook zijn er aanwijzingen dat sommige mensen hypergevoelig zijn voor bepaalde elektromagnetische golven. Dergelijke 'elektromagnetische hypergevoeligheid' zou optreden bij ongeveer 1 individu op 1 000. De studies over het voorkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen zijn voornamelijk in Noord-Amerika en Scandinavië uitgevoerd. Met de kwalitatief betere studies werd door Ahlbom *et al.* (2000) en door Greenland *et al.* (2000) een pooled analysis uitgevoerd. Hun resultaten zijn gelijklopend met de besluiten van de expertpanels van zowel de National Research Council (1997) als van de NIEHS (1999) van de Verenigde Staten. Zij concludeerden dat er een statistisch significante associatie bestaat tussen leukemie en een verhoogde blootstelling (o.a. wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen). Deze associatie vertoont een consistent patroon en is robuust in die zin dat het weglaten van één studie niets wijzigt aan de conclusie. Het vastgestelde relatief risico (RR) is wel laag nl. 1,6 voor een gemiddelde blootstelling hoger dan 0,3 μT en 2,0 voor een gemiddelde blootstelling hoger dan 0,4 μT (ter vergelijking: het RR op longkanker bij rokers is bij benadering 15). In Duitsland hebben 0,2 % en in het Verenigd Koninkrijk 0,4 % van de kinderen een blootstelling hoger dan 0,4 μT . Voor andere vormen van kanker bij kinderen werden geen consistente associaties gevonden. Zoals reeds eerder aangehaald klasserde het internationaal centrum voor kankeronderzoek (IARC) (CIRC, 2001) de ELF elektromagnetische velden als mogelijke kankerverwekkers voor de mens.

Het risico op *leukemie* bij *volwassenen* die wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (*residentiële blootstelling*) werd in verschillende studies bestudeerd. De studies tonen uiteenlopende resultaten. Sommige tonen een verhoogd risico voor chronische lymfocytair leukemie. Andere studies vertonen geen toegenomen risico. Nergens werd een associatie met borstkanker teruggevonden. Ook met hersentumoren werd geen verband gevonden (NIEHS, 1999).

In studies die *blootstelling door het gebruik van huishoudelijke elektrische toestellen* onderzoeken werd het verband onderzocht tussen het optreden van diverse soorten kanker en het gebruik van elektrische huishoudtoestellen zoals elektrische scheerapparaten, haardrogers, massagetoestellen, elektrische wekkers aan bed, elektrische dekens etc. Men koos deze toestellen omwille van de korte afstand tot het lichaam tijdens gebruik en/of de relatief hoge emissie. Ruwweg gezien kan men zeggen dat er geen verbanden werden vastgesteld. Uit metingen is trouwens gebleken dat het meestal kortdurend gebruik van deze toestellen slechts een geringe verhoging van de totale blootstelling veroorzaakt (National Research Council, 1997).

Effecten op de 'algemene gezondheid' werden op diverse wijze onderzocht. Strumza (1970) stelde vast dat de medische consumptie (doktersbezoeken, verbruik van medicatie) niet hoger was bij een groep van 267 personen die op minder dan 25 meter afstand van hoogspanningslijnen woonde dan bij een gelijkaardige groep die op meer dan 125 meter afstand woonde. Bij werknemers in de elektriciteitssector komen er niet meer chronische gezondheidseffecten (neurologisch, cardiovasculair, hematologisch, reproductief) dan in een referentiegroep. Er werd geen verband aangetoond tussen verhoogde blootstelling en laag geboortegewicht, groeiachterstand in de baarmoeder (intra-uterien), vroeggeboorte en congenitale afwijkingen. De relatie met spontane abortus werd in twee studies vastgesteld maar in twee andere niet. Ook in een goed uitgevoerde prospectieve studie (Bracken, 1995) werd geen verband aangetoond.

Kavet (1999) suggereert een mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling en aritmie gerelateerde hartaandoeningen. Het verband tussen de ziekte van Alzheimer en beroepsmatige blootstelling werd in vijf studies (Savitz *et al.*, 1998a; Savitz *et al.*, 1998b; Sobel *et al.*, 1995; Sobel & Davanipour, 1996; Feychting *et al.*, 1998) bestudeerd. Alle vijf de studies tonen een toename in een of meer blootstellingsgroepen. In vier studies is deze toename statistisch significant. Al deze studies hebben echter ernstige methodologische

zwakheden (classificatiebias, selectiebias en onnauwkeurige blootstellingsevaluatie) waardoor ze onbetrouwbaar zijn.

Eén studie vertoonde een verhoogd risico voor amyotrofe lateraalsclerose (ALS) in de hoogste blootstellingsgroep. Twee andere studies konden dit verband niet aantonen. Eén studie vond geen verband tussen beroepsmatige blootstelling en multiple sclerose.

In drie studies kon geen associatie met zelfmoord worden aangetoond. Twee studies vonden wel een verband. Vier studies toonden geen verband met depressie. Poole *et al.* (1993) vond een significant positieve associatie tussen het optreden van depressieve symptomen en het wonen naast een elektriciteitstransmissielijn. Perry & Pearl (1988) stelde vast dat van de personen die in een hoogbouw wonen, de personen die het dichtst bij de grote elektrische voedingskabel wonen, significant meer depressie en angstsymptomen vertonen dan de rest van de bewoners.

Experimenteel onderzoek

In vitro studies bestuderen het biologisch effect van ELF op geïsoleerde menselijke of dierlijke cellen. Concreet worden de geselecteerde cellen op cultuur gezet in een petrischaaltje met voedingsbodem in een aangepaste omgeving onder gecontroleerde omstandigheden qua onder meer temperatuur, vochtigheid, koolstofdioxide.

Recent onderzoek in dit domein bracht verrassende elementen naar voor. In november 2004 publiceerden de onderzoekers van het REFLEX-project (REFLEX, 2004) hun resultaten in hun eindrapport. De met Europese fondsen gesponsorde studie werd uitgevoerd door 12 in 7 Europese landen. De verschillende teams onderzochten zowel de invloeden van ELF als van radiofrequente en microgolvenstraling op menselijke cellen als op materiaal afkomstig van ratten en muizen. Ondermeer werden menselijke neuroblastomacellen - dit is een bepaald type kankercellen - gedurende 42 uren en 90 uren blootgesteld aan ELF bij 10 μT en bij 100 μT . Bij de 42 uren blootstelling (10 μT) stelden de onderzoekers een groei van 12 % vast en 17 % bij 100 μT , mogelijk kan dit wijzen op een versnellend effect op de celdeling bij dergelijke blootstelling. Langere blootstellingsperioden leverden geen meetbaar biologisch effect op.

In vivo studies bestuderen het biologisch effect van 50 en 60 Hz velden op levende proefdieren.

In een recente review van het proefdieronderzoek concludeerde McCann *et al.* (2000) dat lange-termijn blootstellingen met een intensiteit tussen 2 en 5 000 μT geen kanker veroorzaken bij ratten en muizen. Alhoewel de resultaten van de meeste promotie/progressie studies negatief zijn, kan een zwak promotoreffect onder bepaalde blootstellingscondities niet uitgesloten worden. Deze conclusie is vergelijkbaar met die van de expertgroepen van de National Research Council (1997) en de NIEHS (1999) en van Repacholi (1998) van de Wereldgezondheidsorganisatie. Promotie en progressie zijn twee fasen van het ontstaan van kanker. Onder invloed van een promotorstof (groeistof), krijgt het in de initiatiefase eerder aangetaste DNA een groeivoordeel ten aanzien van gezond DNA (promotie) waardoor het kan uitgroeien tot een goedaardige massa cellen. Hierna ondergaan de aangetaste cellen eventueel een tweede onomkeerbare verandering waardoor de zich snel delende cellen een kwaadaardige tumor vormen (progressie). (zie Gevolgen voor Mens).

Effecten op reproductie en ontwikkeling werden niet vastgesteld. Wel werden neuro-endocriene wijzigingen vastgesteld die echter geen aanleiding gaven tot gezondheidsschade.

De meerderheid (NIEHS, 1999) van de studies bij knaagdieren over de functie van de pijnappelklier laten een daling zien van de nachtelijke melatonine concentraties. In deze studies varieert de effectvertonende veldsterkte van 10 μT tot 5,2 mT. Bij geiten en bavianen werd deze daling niet vastgesteld. De daling van de melatonineconcentratie was niet geassocieerd met gezondheidsschade.

In vitro studies hebben tot doel effecten van elektrische of magnetische velden op individuele cellen of geïsoleerde weefsels te ontdekken die in verband staan met nadelige gezondheidseffecten. Volgens het expertpanel van de National Research Council (1997) leidt het geheel van deze studies tot de conclusies dat magnetische veldsterkten zoals ze in de leefomgeving voorkomen geen significante in vitro effecten doen ontstaan. Het algemene besluit van de in vitro studies is dat 50 Hz magnetische en elektrische velden enkel wijzigingen in cellen veroorzaken bij veldsterktes die een factor 1 000 tot 100 000 hoger zijn dan de veldsterktes in de leefomgeving. Een biofysisch mechanisme voor de inductie van kanker werd niet gevonden.

Tabel 11 vermeldt verschillende biologische effecten die in experimenten in het laboratorium werden waargenomen.

Tabel 11: Domeinen waarin biologische gevolgen van extreem-laagfrequente velden en radiogolven/microgolven werden beschreven.

	extreem-laagfrequente velden
veranderingen ter hoogte van het centraal zenuwstelsel en de bloed-hersen barrière	+
veranderingen ter hoogte van (neuro)endocriene systemen	+
gedragswijzigingen	+
veranderingen ter hoogte van het cardiovasculair en cerebrovasculair systeem	+
erfelijke afwijkingen en kanker	+
hematologische veranderingen (bloedspiegel enz.)	+
gehooreffecten	-
cataract (staar)	-
misvormingen van de vrucht	+
groei- en ontwikkelingsstoornissen	+
subtiële fysiologische veranderingen	+
afwijkingen in de afweer tegen ziektekiemen	+
thermoregulatiestoornissen	-
stofwisselingsstoornissen	+
veranderingen in de doorlaatbaarheid van celmembranen	+
stimulatie van beendergroei en –herstel	+

+ : biologische effecten werden beschreven; - : biologische effecten werden niet beschreven

Bron: Verschaeve (1995)

Besluit

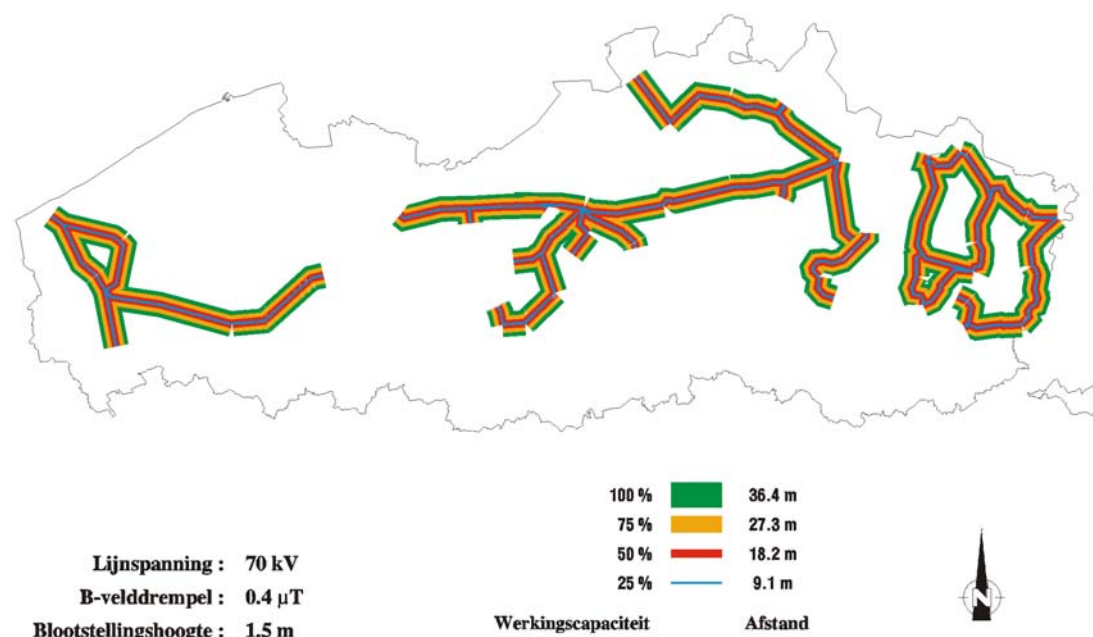
Het wetenschappelijk bewijs dat 50 Hz velden lange-termijn gezondheidseffecten kunnen veroorzaken is niet geleverd. De sterkste aanwijzingen worden gegeven door de epidemiologische studies. Er is een consistente associatie van een licht verhoogd risico op leukemie bij kinderen met residentiële blootstelling en een iets minder overtuigende associatie tussen beroepsblootstelling en chronische lymfocyttaire leukemie. In contrast hiermee staan de dierexperimenten waar geen toename van leukemie werden vastgesteld. Ook de mechanistische studies falen om een consistente verklaring te geven voor het ontstaan van leukemie. Enkel bij hoge veldsterkten werden biologische effecten waargenomen. Het ontbreken van een overeenstemming tussen het epidemiologisch en het experimenteel onderzoek compliceert de interpretatie van de resultaten. De epidemiologische gegevens zijn waargenomen in de 'juiste' diersoort en zijn 'real life' blootstellingen. De risicoverhoging is echter klein zodat een andere factor hiervan de verklaring zou kunnen zijn. Een overtuigende verklaring, anders dan de 50 Hz velden, is echter niet geïdentificeerd. Om te spreken van een causaal verband moet men ook het biologische mechanisme kennen dat een verklaring geeft voor het verband tussen blootstelling en effect. De laboratoriumonderzoeken slagen er niet in zo'n mechanisme te vinden. Het ontbreken van deze mechanistische verklaring verzwakt de overtuiging dat de vastgestelde associatie feitelijk te wijten is aan 50 Hz velden, maar veegt ze niet volledig van tafel.

1.4.2 | Bepaling van de 0,4 μ T contour (I)

Het internationaal centrum voor kankeronderzoek (Centre Internationale de Recherche sur le cancer/International Agency for research and treatment of Cancer) klasseerde onlangs (CIRC/IARC, 2001) het ELF magnetisch veld als “mogelijk kankerverwekkend voor de mens”. Deze beslissing is gebaseerd op de internationale consensus dat epidemiologisch onderzoek aantoonde dat kinderen die blootgesteld worden aan een magnetisch inductieveld (B-veld) van minimum 0,4 μ T een verhoogd risico op leukemie zouden lopen. Om die reden wordt de 0,4 μ T drempel (vaak 0,4 μ T contour genoemd) tegenwoordig vaak aangewend als impactindicator ter beoordeling of een blootstelling aan het B-veld al dan niet als risicovol kan beschouwd worden. In Nederland wordt de 0,4 μ T risicocontour als criterium voor blootstellingspreventie in het kader van de ruimtelijke ordening vooropgesteld: in het ontwerpplannen voor nieuwbouwwoningen tracht de Nederlandse overheid rekening te houden met de 0,4 μ T contour om de blootstelling van de bevolking aan het magnetisch veld van luchtlijnen zo veel mogelijk te reduceren (Kelfkens *et al.*, 2003).

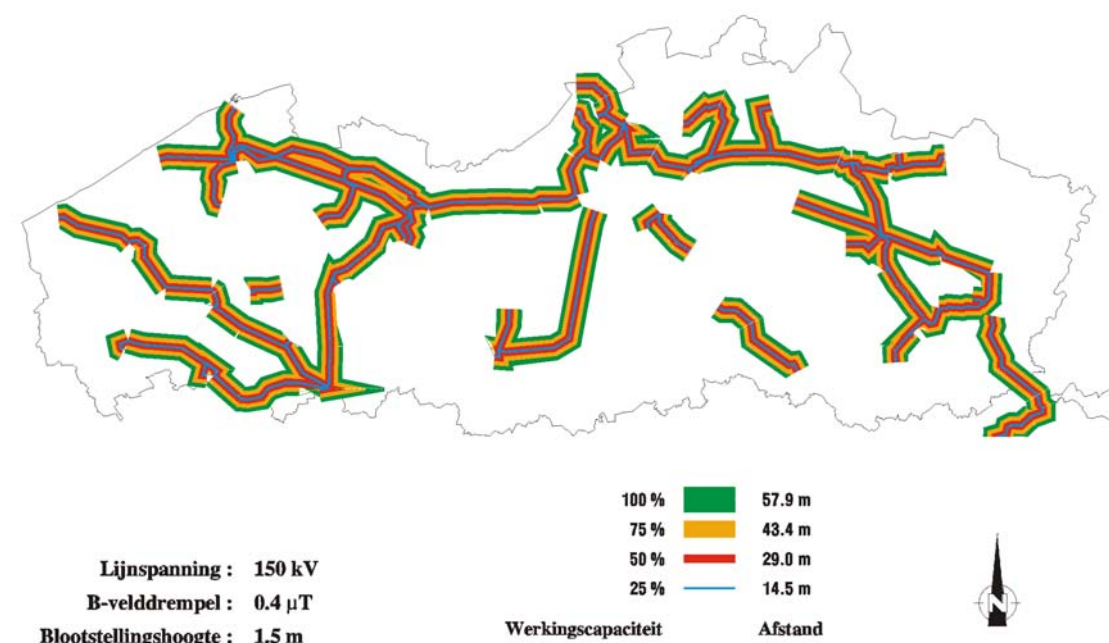
De volgende GIS-kaarten (Figuur 15 t.e.m. Figuur 17) geven de 0,4 μ T contouren van de 70, 150 en 380 kV luchtlijnen in Vlaanderen. Hiervoor werd in de modelsimulaties uitgegaan van de 50^e percentielwaarde van alle variabelen (stroombelasting, geleidershoogte, lijnafstand enz.) die de contourafstand zouden kunnen beïnvloeden (Decat *et al.*, 2003).

Figuur 15: 0,4 μ T contour voor de 70 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)



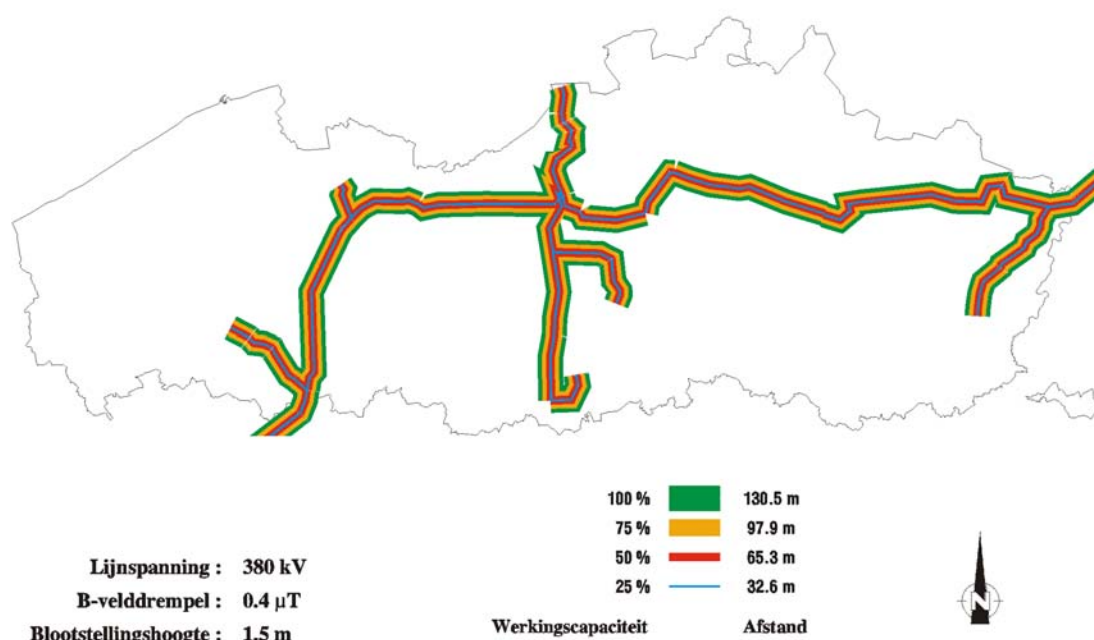
Bron: Vito (2003)

Figuur 16: 0,4 μ T contour voor de 150 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)



Bron: Vito (2003)

Figuur 17: 0,4 μ T contour voor de 380 kV-luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)



Bron: Vito (2003)

Tabel 12 geeft de 0,4 μ T contourafstand voor vier verschillende werkingscapaciteiten van de betrokken luchtlijnen in Vlaanderen.

Tabel 12: Afstand (m) vanaf de hoogspanningslijn waarop 0,4 μ T B-veld wordt teruggevonden bij verschillende werkings- capaciteiten van de verschillende types luchtlijnen (Vlaanderen, 2002)

Werkingscapaciteit van de lijn	70 kV	Lijntype 150 kV	380 kV
25 %	9 m	15 m	33 m
50 %	18 m	30 m	66 m
75 %	27 m	43 m	98 m
100 %	36 m	58 m	130 m

Bron: Vito (2003)

Zoals uit tabel 15 blijkt varieert de afstand tot waarop een magnetisch veld van 0,4 μ T teruggevonden wordt tussen 9 m en 130 m. Noteer dat de lijnen gedurende (35 \pm 17) % van de tijd werken tussen 50 en 75 % van de maximale stroombelasting die in de periode 2000 – 2001 door Elia geregistreerd werd en slechts voor (4,5 \pm 3,5) % van de tijd tussen 75 en 100 % van deze maximale stroombelasting werken (Vito-berekeningen uit ongepubliceerde gegevens van Elia).

Blootstelling aan een gemiddeld magnetisch veld van 0,4 μ T

Schatting van de blootstelling

Op basis:

- van het gegeven dat in Vlaanderen 5 972 781 personen wonen op een oppervlakte van 13 522 km² (NIS, 2002) en dit overeenkomt met een bevolkingsdichtheid van 442 inwoners/km².
- van 1 345 685 kinderen van de leeftijdsgroep tussen 0 en 19 jaar die in Vlaanderen wonen en dit overeenkomt met een dichtheid van 99,5 /km² (NIS, 2002)
- van het gegeven dat een doorsnee Vlaams huisgezin gemiddeld 2,46 personen telt (NIS-enquête, 2001)
- van de geografische lengte van de luchtlijnen 2002 (Elia, jaarverslag 2002)
- van de 0,4 µT contour van het B-veld per lijntype en per werkingscapaciteit (Figuur 15 t.em. Figuur 17)
- van de 0,4 µT contour bij 50 % en 100 % (worst case) werkingscapaciteit (wkc) (Tabel 12 dat 5 %, 4,6 % en 2 % van het respectievelijk aantal km 70, 150 en 380 kV-luchtlijn de bebouwde kom doorkruist (Elia, ongepubliceerde gegevens)
- van de bevolkingsstatistieken van NIS (2002) getransformeerd naar de bevolkingsdichtheid in de bebouwde kom

wordt geschat dat ongeveer 0,7 % (bij wkc = 50 %) en respectievelijk 1,4 % (bij wkc = 100 %) van inwoners van Vlaanderen blootgesteld worden aan een gemiddeld B-veld van 0,4 µT. Tabel 13 geeft een samenvatting van de oppervlakte en het percentage inwoners en kinderen tussen 0 en 19 jaar die in Vlaanderen blootgesteld worden aan een B-veld van minimum 0,4 µT. Voor de kinderen tussen 0 en 19 jaar wordt een onderscheid gemaakt tussen het percentage blootgesteld t.o.v. het totaal aantal inwoners in Vlaanderen en t.o.v. het totaal aantal kinderen in deze leeftijdscategorie.

Tabel 13: Blootstelling binnen de 0,4 µT contour (Vlaanderen, 2002)

Werkings- capaciteit	Blootstelling van	Lijntype			Totaal
		70 kV	150 kV	380 kV	
25 %	- oppervlakte (km ²)	1,25	1,55	0,65	3,5
	- aantal woningen	2 914	3 885	1 700	8 498
	- % inwoners	0,12	0,16	0,07	0,35
	- % kinderen tss 0-19j(1)	0,03	0,04	0,01	0,08
	- % kinderen tss 0-19j(2)	0,12	0,16	0,07	0,35
50 %	- oppervlakte (km ²)	2,50	3	1,3	7
	- aantal woningen	5 827	7 769	3 399	16 996
	- % inwoners	0,25	0,31	0,13	0,7
	- % kinderen tss 0-19j(1)	0,06	0,07	0,03	0,16
	- % kinderen tss 0-19j(2)	0,25	0,31	0,13	0,7
75 %	- oppervlakte (km ²)	3,7	4,7	2	10,5
	- aantal woningen	8 741	11 654	5 099	25 494
	- % inwoners	0,38	0,48	0,20	1,06
	- % kinderen tss 0-19j(1)	0,09	0,11	0,05	0,24
	- % kinderen tss 0-19j(2)	0,38	0,48	0,20	1,06
100 %	- oppervlakte (km ²)	5	6,2	2,6	14
	- aantal woningen	11 654	15 539	5 099	25 494
	- % inwoners	0,5	0,63	0,26	1,4
	- % kinderen tss 0-19j(1)	0,11	0,14	0,06	0,3
	- % kinderen tss 0-19j(2)	0,5	0,63	0,26	1,4

- % kinderen tss 0-19j(1): % berekend op aantal inwoners in Vlaanderen

- % kinderen tss 0-19j(2): % berekend op aantal kinderen tussen 0 en 19 jaar in Vlaanderen

Bron: Vito (2003)

Omdat het NIS (2003) alleen over de bevolkingsstatistieken beschikt voor kinderen tussen 0 en 19 jaar werden geen blootstellingpercentages berekend voor de epidemiologisch gevoeligste leeftijdsklasse, nl. tussen 0 en 15 jaar. In de veronderstelling dat deze leeftijdsklasse op dezelfde manier verspreid is als de categorie kinderen tussen 0 tot 19 jaar

zijn de gegevens van Tabel 13 goede schatters van het blootstellingpercentage voor de kinderen tussen 0 en 15 jaar. Uitgaande van het relatief risico van 2 voor de associatie tussen de blootstelling aan gemiddeld 0,4 μT en kinderleukemie wat overeenkomt met 2 tot 3 extra leukemiegevallen per 100 000 blootgestelde kinderen (tussen 0 en 15 jaar) per jaar (van der Plas *et al.*, 2001a) berekenden we dat in Vlaanderen maximaal 0,55 leukemiegevallen per jaar (of ongeveer 1 om de 2 jaar) door blootstelling aan het magnetisch veld van hoogspanningslijnen zouden bijkomen. Deze extra incidentie is vergelijkbaar met de schatting in Nederland die uitwijst dat minder dan 1 kind op 110 nieuwe gevallen van kinderleukemie per jaar bijkomt door blootstelling aan het magnetisch veld van hoogspanningslijnen (van der Plas *et al.*, 2001b). De schattingen zijn slechts geldig indien er een verband bestaat tussen oorzaak en gevolg. In Vlaanderen werden voor de perioden 1997, 1998 en 1999 (laatste registratie tot nu toe) respectievelijk 48, 43 en 48 leukemiegevallen voor kinderen tussen 0 en 15 jaar geregistreerd. Het gaat hier over alle leukemieën, niet enkel deze die in verband staan met hoogspanningslijnen. De cijfers zijn de som van de frequenties van lymfatische leukemie, myeloïde leukemie, monocytair leukemie en overige leukemieën. (Van Eyken, 2002).

Onzekerheid op schatting

De onzekerheid op de blootstellingsstatistieken die in Tabel 13 gegeven worden is hoofdzakelijk toe te schrijven aan:

- nog onvoldoende representatieve statistieken over de variërende stroombelasting van het hoogspanningsnet;
- nog te weinig inzicht in de clusterspreiding van de woningen en de bevolking rond het hoogspanningsnet;
- nog onvoldoende kennis over de bevolkingsdichtheid in de bebouwde kommen die door het hoogspanningsnet doorkruist worden;
- geen gegevens over de bevolkingsdichtheid van kinderen tussen 0 en 15 jaar.

Om de betrouwbaarheid van de berekeningen te verhogen moet men dus beschikken over de representatieve tijdspercentielen die de duur van de werkingscapaciteit (stroombelasting) per lijnverbinding (iedere hoogspanningslijn wordt geïdentificeerd door o.a. een lijnnummer) aangeeft. Bovendien zou de geografische lengte van het boven- en ondergronds net dat de bebouwde kommen kruist en de bevolkingsdichtheid van de bebouwde kommen accuraat moeten bestudeerd worden. De nauwkeurigste, maar tevens de duurste, methode hiervoor is het tellen van het aantal woningen (in al haar varianten) en het aantal inwoners (per leeftijdscategorie) dat zich in de 0,4 μT contour van elk lijntype bevindt. Deze tellingen zouden geïntegreerd kunnen worden in o.a. de statistische sectoren waarmee, indien het in het kader van ruimtelijke ordening en volksgezondheid nodig zou zijn, aan blootstellingsplanning kan gedaan worden op gemeentelijk, provinciaal en regionaal vlak.

Dat men in het buitenland steeds meer overweegt om in de ruimtelijke ordening de 0,4 μT risicocontour als criterium voor blootstellingspreventie te gebruiken wordt aangetoond door het RIVM rapport (Kelfkens *et al.*, 2003) i.v.m. 'Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen'. Op grond van het voorzorgsprincipe overweegt de Nederlandse overheid de blootstelling van de bevolking aan het B-veld afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen te reduceren. Het meest relevante gegeven uit de Nederlandse studie dat betrekking heeft op de resultaten van Tabel 13 is dat in 2000 in Nederland 23 000 woningen binnen de 0,4 μT contour stonden die berekend was op de 50^e percentielwaarde van de werkingscapaciteit van de bovengrondse luchtlijnen. Het 50^e percentiel van de werkingscapaciteit (wkc 50 %) voor Tabel 13) daarentegen toont aan dat 17 000 woningen binnen deze contour vallen. Daarenboven is de woningsdichtheid in Nederland⁴ 203/km², in Vlaanderen 180/km² en de verhoudingsfactor (203/180) van beiden 1,13. Deze factor is vergelijkbaar met factor van 1,35 (23 000/17 000) die de verhouding van

⁴ Nederland heeft 16,2.10⁶ inwoners op een oppervlakte van 3,4.10⁴ km² (Kelfkens *et al.*, 2003), de bevolkingsdichtheid is 480/km² (CBS, 2003) en het aantal gezinsleden per woning is 2,37. Vlaanderen heeft ongeveer 6.10⁶ woningen op 1,35.10⁴ km², een bevolkingsdichtheid van 442/km² en een aantal gezinsleden van 2,46 per woning (NIS, 2002).

het aantal woningen binnen de 0,4 μ T contour tussen Nederland en Vlaanderen weergeeft. Wanneer bovendien rekening gehouden wordt met het uitgebreid aantal variabelen dat bij deze rekenmethoden een rol speelt, kan men stellen dat er een vrij goede overeenkomst bestaat tussen de resultaten (en zo de methodologie) van Vlaanderen en Nederland.

Zoals de Nederlandse overheid nu overweegt, zou de Vlaamse overheid ook kunnen nagaan of de 0,4 μ T contour een doeltreffend criterium is om aan blootstellingspreventie te doen door tevens rekening te houden met alle mogelijke socio-economische aspecten (inperken van elektrisch comfort etc.) die erbij horen.

2. | Intermediaire frequenties

2.1 | Bronnen van intermediaire frequenties

Frequenties die zowat tussen de radiofrequente straling en de extreem lage frequenties liggen, worden ook soms aangeduid als de *intermediaire frequenties of middenfrequenties*. Er zijn verschillende definities voor deze frequenties in omloop. De afbakening is dan gesitueerd tussen de 300 Hz en 10 MHz of tussen de 3 kHz en de 3 MHz (Verschaeve et al., 2004). In dit document worden de intermediaire frequenties gesitueerd tussen de 3 kHz en de 3 MHz. Deze frequenties worden gebruikt in verschillende toepassingen. Hieronder volgt een niet-limitatieve lijst (WHO, 2005a)

Industrie:

- diëlectrische hitteverzegelaars,
- inductie- en plasmaverhitters,
- zenders en seintoestellen.

Huishoudens:

- huishoudelijke inductiefornuis,
- nabijheidssensor,
- computerschermen en televisies.

Handel & diensten:

- anti-diefstal- en identificatiesystemen zoals elektronische artikelbewaking (electronic article surveillance of EAS) en radiofrequente identificatiesystemen (radiofrequency identification RFID)
- MRI-systemen (medisch),
- EM-zenuwstimulatoren (medisch),
- elektrochirurgische en andere medische behandelingsapparatuur.

2.2 | Intermediaire frequenties in de leefomgeving

2.2.1 / *Intermediaire frequenties in de buurt van elektronische bewakingssystemen (S)*

Frequent voorkomende bronnen van intermediaire frequenties, zijn de elektronische artikelbewaking systemen (EAS) Dit zijn de gekende doorlooppoortjes bij de ingang en/of uitgang van gebouwen. 97 % van deze systemen zijn terug te vinden in de grootwarenhuizen, maar ook in bibliotheken, hotels en hospitalen worden deze gebruikt.

Omdat de opkomst van deze technologie vrij recent is, zijn er enkel sporadische metingen in het werkmilieu en modelmatige inschattingen beschikbaar. Tabel 14 geeft de magnetische veldwaarden die teruggevonden werden in een werkmidden op een afstand van 30 tot 50 cm van de EAS-systemen.

Tabel 14: Magnetische fluxdichtheid in de nabijheid van elektronische bewakingssystemen in werkmilieu

Frequentie (kHz)	Piekwaarden (μT)	ICNIRP referentieniveau
0,073	146	484
0,219	122	161
0,230	93	154
0,535	72	66
5-75	43	44
58	62-65	44

Bron: Vecchia (2004)

Voor de algemene bevolking is de blootstelling wellicht veel kleiner als de waarden vermeld in Tabel 14 aangezien de afstand tot de bron meestal meer dan 30 tot 50 cm bedraagt en de blootstellingsduur beperkt is tot enkele seconden en vaak maar een fractie van een seconde is.

Modelmatige inschattingen zijn minder positief. EAS-systemen genereren een sterker magnetisch veld op lagere hoogte nl. ter hoogte van het kinderhoofd. Hierdoor zou voor kinderen de basisrestrictie geformuleerd door het ICNIRP wel overschreden worden (zie 3.3.2 Doelstellingen). Hierbij moet er echter wel rekening mee gehouden worden dat de ICNIRP-richtlijn geformuleerd werd voor een blootstellingsduur van 6 minuten, terwijl dit bij EAS-systemen slechts over enkele seconden gaat. Mogelijke gezondheidseffecten door deze bron zijn daarom eerder hypothetisch dan reëel. Deze vaststelling is wel een indicatie dat het wenselijk is om de evolutie en ontwikkeling van deze systemen in de toekomst op te volgen. (Verschaeve et al, 2004).

2.3 | Gevolgen voor de mens van intermediaire frequenties

Er zijn nog maar weinig specifieke studies uitgevoerd over de gevolgen van intermediaire frequenties voor de mens. Maar de biologische mechanismen waarop ze op het menselijke lichaam inwerken zijn gelijkaardig als deze van de ELF-velden en de RF-straling naargelang de frequentie (WHO, 2005a).

De volgende biologische effecten zijn goed gekend, maar komen echter enkel voor bij hoge niveaus van straling die niet voorkomen in het leefmilieu:

- *Thermische effecten*: hittedepletie door langdurige blootstelling aan de hogere frequenties binnen het IF-frequentiegebied;
- *Niet-thermische effecten*: schade aan de celmembranen door hoge potentiaal verschillen geïnduceerd door externe velden (electroporatie).

Bij epidemiologisch onderzoek naar effecten bij menselijke reproductie, effecten op het oog en borstkanker door IF-straling, werden geen effecten teruggevonden of waren de resultaten niet overtuigend. Er is momenteel dan ook geen wetenschappelijke evidentie voor mogelijke negatieve effecten van IF-straling op de gezondheid van de mens bij de huidige niveaus teruggevonden in het leefmilieu (WHO, 2005a).

3. | Radiofrequentie en microgolfstraling

3.1 | Bronnen van radiofrequente straling

De belangrijkste doelgroepen, opgesplitst naar de verschillende toepassingen van radiofrequente elektromagnetische golven zijn:

- operatoren mobiele telecommunicatie (GSM-operatoren, ASTRID-netwerk)
- eindgebruikers mobiele telefonie (GSM)
- eindgebruikers draadloze toestellen (bv. digitaal DECT-systeem, WLAN-netwerken)
- amateur-radio (bv. CB op 27 MHz)

- radio- en TV-omroepen (terrestrische transmissie van radiosignalen en TV-beelden door nationale omroepen en commerciële radio)

Het aandeel van de doelgroepen kan benaderend bepaald worden met behulp van onderstaande, zij het niet-exhaustieve, lijst:

Huishoudens

- gebruikers microgolfoven, inductiekookplaten
- gebruikers mobiele telefoon
- gebruikers draagbare telefoon of draadloze computernetwerken
- gebruikers babyfoons

Industrie

- kunststofindustrie en staalbedrijven (inductieverwarmers)

Handel & diensten

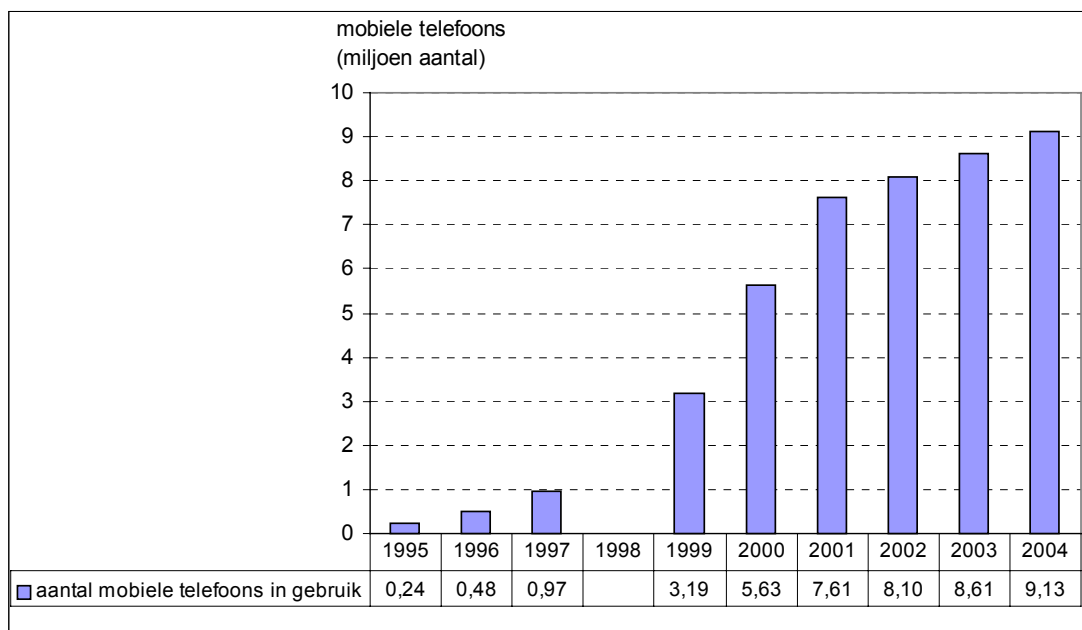
- telefoonmaatschappij, incl. 3 GSM-operatoren (zendmasten en draagbare telefoons)
- TV- en radiomaatschappijen (zendmasten, satellietcommunicatie)
- ziekenhuizen waar microgolfbehandelingen en Nucleair Magnetische Resonantie-onderzoeken worden uitgevoerd
- Openbaar bestuur: defensie (radar, communicatietoepassingen)
- Industrie: antidiefstalsystemen, identificatiesystemen

Transport

- Regie der Luchtwegen (RADAR)
- GPS-ontvangers

3.1.1 | Aantal mobiele telefoons in gebruik in België (D)

Figuur 18 geeft de evolutie van het aantal mobiele-telefoon-abonnees in België voor de periode 1995 – 2004. Deze figuur toont een zeer sterke stijging van de penetratie van het GSM toestel. Het GSM toestel is geëvolueerd van een gadget tot een algemeen aanvaard gebruikstoestel. In 2004 zijn er in België 87,8 actieve en inactieve GSM telefoons per 100 inwoners (NIS, 2004).

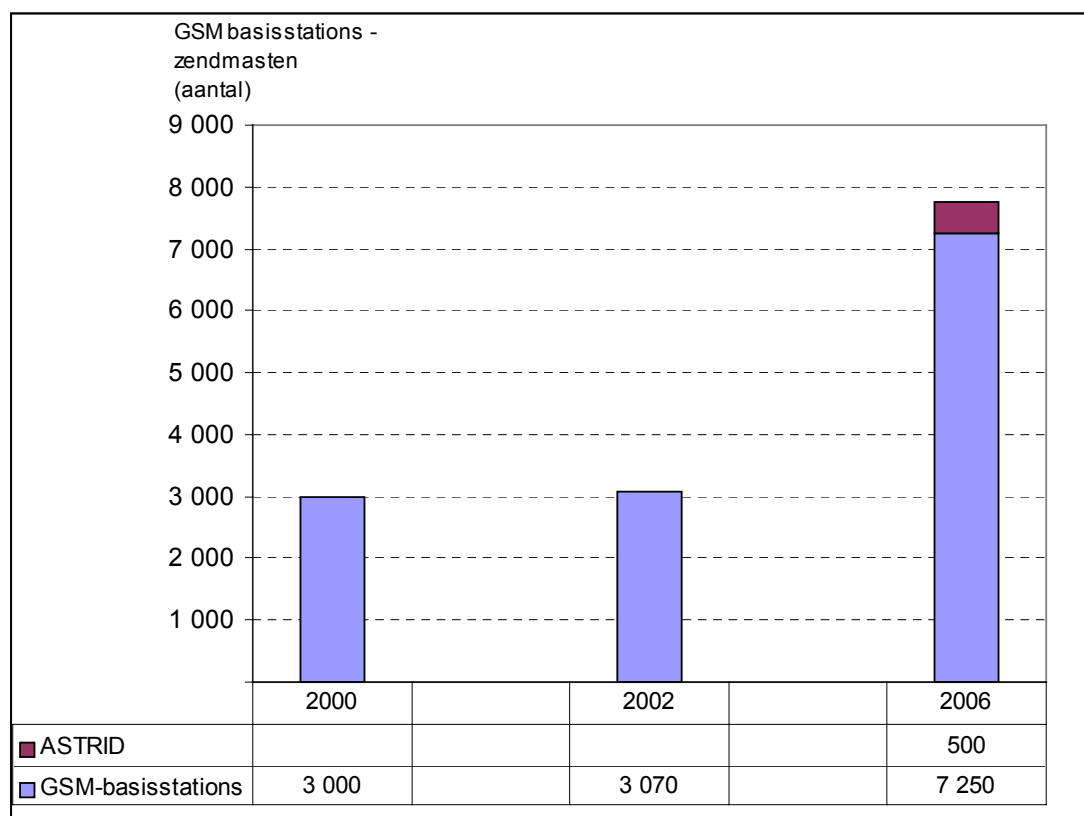
Figuur 18: Aantal mobiele telefoons in gebruik (België, 1995-2004)

Bron: NIS (2004)

3.1.2 | Aantal GSM-basisstations en ASTRID-zendmasten (D)

Volgens de operatoren waren er eind 2000 ongeveer 3 000 basisstationsites en eind 2002 zo'n 3 070 basisstationsites in Vlaanderen zijn. In 2006 zijn er zo'n 7 250 sites in Vlaanderen (Figuur 19). Deze stijging is het resultaat van de uitbouw van het UMTS netwerk en het leveren van een betere dekking voor GSM (ook binnenshuis). Het mobiele communicatienetwerk voor de hulpdiensten A.S.T.R.I.D. (All-round Semi-cellular Trunking Radio communication system with Integrated Dispatching) bestaat eind 2005 uit ca. 500 basisstations in België (www.astrid.be). In Nederland bestaat eveneens een TETRA-radiocommunicatienetwerk, onder de naam C2000, dat een nationale radiodekking voorziet voor alle Nederlandse hulp- en veiligheidsdiensten. Op 25 en 26 oktober 2005 is het Belgische A.S.T.R.I.D.-communicatiesysteem voor de eerste maal gekoppeld aan het Nederlandse C2000-communicatiesysteem tijdens een grensoverschrijdende controle-actie door de Belgische en Nederlandse politiediensten.

Figuur 19: Aantal GSM-basisstations (Vlaanderen, 2000, 2002, 2005)



Bron: BIPT, GSM operatoren

Door toename van het aantal basisstationsites wordt enerzijds het gebied dat door één basisstation moet bediend worden, en bijgevolg het uitgezonden vermogen nodig voor een zelfde netwerkcapaciteit (het aantal gebruikers dat het basisstation tegelijk kan bedienen), kleiner, maar anderzijds worden meer mensen met een basisstation in hun buurt geconfronteerd.

Op de antennewebsite van het BIPT (<http://www.sites.bipt.be/>) is de locatie van de zendmasten onderworpen aan sitiesharing en onderworpen aan het Koninklijk Besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz raadpleegbaar (zie ook 3.2.1 | uitgezonden vermogen antennes voor omroep en mobiele communicatie).

3.1.3 | Aantal zendinstallaties voor TV en radio (D)

Eind 2000 waren er volgens de Administratie Media en VRT 310 erkende lokale radio's in Vlaanderen. 188 van deze zenders hadden een vermogen van 100 W, de anderen hadden lagere vermogens. Er zijn 12 regionale FM-zenders met vermogen tussen 0,5 en 50 kW, 4 regionale AM-zenders met een vermogen tussen 5 en 300 kW en 7 regionale tv-zenders met een vermogen tussen 100 en 1 000 kW.

Eind 2002 waren er volgens de Administratie Media in het Vlaamse gewest 296 FM-radiozenders voor lokale radio actief, 46 FM-radiozenders voor de twee landelijke particuliere radionetten. De VRT heeft een FM-zendpark op 10 sites in Vlaanderen, corresponderend met 32 actieve zenders. De VRT heeft ook 4 regionale middengolfzenders (geïnstalleerd op drie sites). In Vlaanderen zijn er eveneens 16 DAB (Digital Audio Broadcasting, digitale radio) zenders geïnstalleerd. Voor analoge televisie heeft de VRT 8 zenders in gebruik vanuit 5 verschillende plaatsen. Daarnaast zijn er ook twee zenders van waaruit twee digitale televisieprogramma's (DVB-T, Digital Video Broadcasting - Terrestrial) worden uitgezonden.

Sinds mei 2004 zijn er volgens de Administratieve Media in het Vlaamse gewest 293 FM-radiozenders voor lokale particuliere radio actief (bv. Aalst 90 FM, Laser, City Music, Katanga ...), 28 FM-radiozenders voor regionale particuliere radio en 43 FM-radiozenders voor de twee landelijke particuliere radionetten (4 FM en Q-Music). Voor de VRT zijn het aantal FM-en TV-antennes ongewijzigd gebleven t.o.v. eind 2002. In september 2005 zijn er 17 DAB-zenders en 8 zenders van waaruit digitale DVB-T wordt uitgezonden.

Tabel 15 geeft een overzicht van de aantallen zendinstallaties voor TV en radio.

Tabel 15: Aantal zendinstallaties voor TV en radio (Vlaanderen, 2000, 2002, 2004)

	2000	2002	2004
FM radiozenders voor particuliere lokale radio	310	296	293
FM radiozenders voor particuliere landelijke radionetten	-	46	43
FM radiozenders voor openbare landelijke radionetten	32	32	32
<i>totaal FM radiozenders</i>	<i>342</i>	<i>374</i>	<i>368</i>
AM (midengolf) zenders	4	4	4
DAB zenders	-	16	17
analoge TV zenders	7	8	8
digitale TV-zenders (DVB-T)	-	2	8
<i>totaal TV-zenders</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>16</i>

Bron: Administratie Media, VRT

3.2 | Opwekking van radiofrequente straling

3.2.1 | *Uitgezonden vermogen antennes voor omroep en mobiele communicatie (P)*

Elektromagnetische velden laten toe om zonder fysieke drager informatie over te dragen aan de lichtsnelheid. Het uitzenden van elektromagnetisch radiofrequent vermogen is dan ook de essentiële voorwaarde om *draadloze communicatie* tot stand te brengen.

De ideale drukindicator is de door de mobilofonie, tv, radio, radar en andere zendinstallaties uitgezonden radiofrequentie- en microgolfstraling in Vlaanderen. Zoals hierboven besproken zijn er velerlei bronnen van radiofrequentie- en microgolfstraling (zoals microgolfovens, GSM's, draadloze telefoons, enz.), zodat een allesomvattend cijfer voor deze indicator niet te berekenen is. Anderzijds blijkt uit metingen van de elektromagnetische veldsterkte dat meestal dezelfde bronnen relevant zijn: FM-radiozenders, televisiezenders en de zenders voor mobiele communicatie. Deze zenders hebben dan ook tot doel om in een bepaald uitgestrekt gebied een bepaalde dienst via elektromagnetische golven aan de eindgebruiker aan te bieden en zenden continu uit. Daarom zal voor deze drukindicator enkel de vaste zendantennes voor omroep en mobiele communicatie in rekening worden gebracht, waarbij weliswaar in het achterhoofd moet worden gehouden dat er nog vele andere bronnen kunnen zijn die lokaal een sterkere bijdrage kunnen leveren tot de emissie van radiofrequentie- en microgolfstraling (bv. private mobiele radio, amateur radio ...) Maar omdat deze bronnen meestal lokaal van aard zijn of niet continu uitzenden, en omdat gegevens erover niet beschikbaar zijn, werden ze niet in rekening gebracht bij het berekenen van deze drukindicator. Voor het berekenen van de indicator beperken we ons ook tot het frequentiegebied 10 MHz – 10 GHz (het toepassingsgebied van het Belgisch K.B. van 29 april 2001). Aangezien het totale uitgezonden vermogen afhankelijk is van het gebied dat men wil bedekken, is het totaal uitgezonden elektromagnetisch vermogen, uitgemiddeld over het hele Vlaamse gewest een betere indicator voor de druk.

Het vermogen dat in rekening moet worden gebracht is het vermogen aan de ingang van de antenne en niet het effectief uitgestraald vermogen (ERP of EIRP, waarbij de richtingsafhankelijke winst van de antenne in rekening wordt gebracht om het effectief uitgestraald vermogen te bepalen). Alhoewel de antennewinst lokaal een sterke verhoging van de uitgezonden vermogendichtheid kan veroorzaken, moet zij – samen met de hoogte van de antenne – ervoor zorgen dat het uitgezonden vermogen zo egaal mogelijk over het

zendgebied wordt verspreid. Daardoor zullen antennes met een grote antennewinst hoger worden geplaatst. Indien zou rekening worden gehouden met de winst van de antenne, zouden toepassingen die slechts een klein gebied moeten bedekken (in het limietgeval bv. microgolfverbindingen die een punt-naar-punt verbinding tot stand brengen) sterk overschat worden. Tabel 16 vermeldt het totaal uitgezonden vermogen per toepassing.

Tabel 16: Schatting van het uitgezonden vermogen per toepassing (2005)

Toepassing	Frequentie	Uitgezonden vermogen
middengolf radio (AM)	1 MHz	555 kW
FM-radio (particulier en publiek)	100 MHz	320 kW
digitale radio (DAB)	200 MHz	13 kW
analoge televisie	200 MHz tot 800 MHz	170 kW
digitale terreestriële televisie (DVB-T)	800 MHz	14 kW
ASTRID	400 MHz	16 kW
GSM/ UMTS	900 MHz, 1 800 MHz, 2 000 MHz	554 kW

Bron: BIPT, gegevensbank Sectie RF-straling; VRT; Administratie Media

Antennes voor omroep

De gegevens betreffende de particuliere omroepzenders werden verstrekt door de Administratie Media. Om het totale uitgezonden vermogen voor de particuliere FM-radio te kennen, werd het toegelaten vermogen aan de ingang van de antenne gesommeerd voor alle lokale, regionale en alle landelijke particuliere FM-radio's met een erkenning vanaf mei 2004. Het totale vermogen van de particuliere radio's is toegenomen sinds het nieuwe frequentieplan van 2003 in vergelijking met de gegevens van 2002. De gegevens voor de FM-radio zenders voor publieke omroep zijn verstrekt door de VRT, evenals de uitgezonden vermogens voor DAB-radio en DVB-T.

De uitgestraalde vermogens voor analoge televisie, digitale radio en digitale televisie zijn enkel afkomstig van VRT-zenders. Het uitgezonden vermogen van digitale terreestriële televisie is toegenomen van 6 kW in 2002 tot 14 kW in 2005.

Antennes voor mobiele communicatie

Naast de voorschriften i.v.m. stevigheid en veiligheid (risico van omvallen, blikseminslag), en ruimtelijke ordening dienen vaste zendinstallaties voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz voldoen aan het Koninklijk Besluit van 29 april 2001 (Belgisch Staatsblad, 22-05-2001), gewijzigd bij Koninklijk Besluit van 21 december 2001. Volgens deze koninklijke besluiten is elke eigenaar van een vaste zendantenne verplicht voor deze antenne een studie te maken in welke mate hij bijdraagt tot de totale blootstelling aan elektromagnetische straling, zodat hij kan aantonen dat de antenne voldoet aan de normen voor blootstelling aan elektromagnetische golven vermeld in het K.B. van 21 december 2001 (Belgisch Staatsblad, 29-12-2001). Het BIPT werd als controlerende instantie aangeduid voor deze wet en beschikt bijgevolg over het maximaal vermogen dat kan uitgezonden worden. Voor nieuwe installaties moet sedert begin 2002 een dossier ingediend worden, voor bestaande installaties moeten tegen eind 2006 een dossier gemaakt worden.

Op 15 december 2004 vernietigde de Raad van State het Koninklijk Besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Op 22 september 2005 verscheen in het Belgisch Staatsblad het Koninklijk besluit van 10 augustus 2005 houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. De leemte die ontstond door de vernietiging van het vorige K.B. door de Raad van State is dus momenteel terug ingevuld.

Aangezien voor mobiele communicatiediensten de nodige capaciteit van het basisstation in de tijd zal toenemen, hebben sommige operatoren een zekere marge op hun maximaal uitgezonden vermogen genomen, wanneer ze aantoonde dat ze aan de Belgische norm

voldeden. Het werkelijk uitgezonden vermogen zal dan voor basisstations dikwijls lager liggen dan het vermogen opgegeven aan het BIPT.

De gegevens van de uitgezonden vermogens voor TETRA en GSM werden berekend op basis van de BIPT-databank. Aangezien ASTRID een recent netwerk is, werd het uitgezonden vermogen volledig op basis van de BIPT-databank berekend.

Voor de GSM-basisstations werd het totaal uitgezonden vermogen voor de basisstations uit de databank berekend en daarna geëxtrapoleerd voor het totaal aantal basisstations dat de mobiele operatoren in Vlaanderen in dienst (Tabel 17). Voor de 7 249 Vlaamse sites werd een totaal vermogen van 554,4 kW bekomen. Ondanks de toename van het aantal sites is het totaal vermogen lichtjes gedaald. Door toename van het aantal basisstations wordt het gebied dat door één basisstation moet bediend worden kleiner, en bijgevolg is het uitgezonden vermogen nodig voor een zelfde netwerkcapaciteit kleiner.

Tabel 17: Uitgezonden vermogen door basisstations voor mobiele communicatie (Vlaanderen, 2002, 2005)

	2002	2005
aantal basisstations in Vlaanderen	3 070	7 249
totaal vermogen basisstations ⁽¹⁾	560 kW	554,4 kW

(1) extrapolatie op basis van database BIPT

Bron: UGent op basis van BIPT

Het totaal uitgezonden vermogen in de band 10 MHz – 10 GHz door antennes voor omroep en mobiele communicatie, wordt voor 2002 geschat op 956 kW en in 2005 geschat op 1 057 kW. Dit correspondeert voor Vlaanderen met een gemiddeld uitgezonden vermogen per vierkante kilometer van 71 W/km² en 80 W/km² voor respectievelijk het jaar 2002 en 2005 (Tabel 18).

Tabel 18: Totaal uitgezonden vermogen door antennes voor omroep en mobiele communicatie (Vlaanderen, 2002, 2005)

	2002	2005
totaal uitgezonden vermogen	956 kW	1 057 kW
gemiddeld uitgezonden vermogen /km ²	71 W/km ²	80 W/km ²

Bron: UGent op basis van BIPT, gegevensbank Sectie RF-straling; VRT; Administratie Media

3.2.2 | Uitgezonden vermogen GSM-en UMTS-toestel (P)

Het maximaal uitgestraalde vermogen van een GSM-toestel in de vrije ruimte is 2 W. Het vermogen van een antenne op het basisstation varieert van vermogens kleiner dan 1 W voor picocellen, tot maximale vermogens van ca. 100 W voor macrocellen. Het uitgezonden vermogen van de GSM-toestel is afhankelijk van de kwaliteit van de verbinding tussen basisstation en mobilfoon: hoe beter die kwaliteit is (bv. wanneer men zich dicht bij het basisstation bevindt), hoe lager het vermogen is, dat door de telefoon wordt uitgezonden.

Het gsm-toestel is niet permanent in gebruik en geeft bij uitschakeling geen straling. In de 'standby'-toestand zendt het gsm-toestel sporadisch signalen uit voor de communicatie met het dichtsbijzijnde basisstation. Aangezien het gsm-toestel dicht bij het hoofd op ongeveer 2 cm afstand wordt gehouden, moet men de nabije-velden bepalen. Deze zijn sterk afhankelijk van het ontwerp van de telefoon. Ook het hoofd van de gebruiker wijzigt de velden sterk. Het heeft bijgevolg geen nut emissiewaarden en -normen voor de elektromagnetische velden op te geven; wel is er behoefte aan blootstellingsnormen.

De emissie is het laagst als het vermogen van het gsm-toestel op iedere plaats wordt geminimaliseerd zoals nu bij het GSM-systeem. In de auto gebruikt men best een mobilfoon aangesloten op een antenne op het dak, omdat het gsm-toestelgebruiker hierdoor het minst

energie opneemt door de afschermende werking van de autocarosserie. Als daarentegen een mobilfoon met ingebouwde antenne in de auto wordt gebruikt zal het uitgestraalde vermogen zeer moeilijk de auto verlaten om dezelfde reden, zodat het gsm-toestel op maximaal vermogen zal uitzenden. Meer antennes en bijgevolg kleinere cellen verlagen het nodige vermogen. Bij het GSM1800-systeem is het nodige vermogen twee maal lager dan bij het GSM900-systeem.

Bij het UMTS systeem zullen kleinere cellen gebruikt worden en zal het uitgezonden vermogen lager liggen. Vanaf september 2005 zijn de eerste UMTS-diensten voor het grote publiek beschikbaar. Het rms-vermogen van UMTS-toestellen varieert van 125 tot 250 mW.

3.2.3 | Doelstellingen

De duurzaamheidsdoelstelling is dat het uitgezonden vermogen beperkt moet worden zodat de algemene bevolking maar in die mate aan niet-ioniserende straling wordt blootgesteld dat er - noch op korte noch op lange termijn - voor de gezondheid schadelijke gevolgen ontstaan.

In het Koninklijk Besluit van 29 april 2001, wordt opgelegd dat het uitzendvermogen per zendmast (i.e. mast, pyloon of zendpunt, ofwel alleenstaand of op gebouwen, met de daar op bevestigde antennes) maximaal moet worden beperkt, rekening houdend met een kwalitatieve dienstverlening. Zoals vermeld werd in 3.2.1 | Aantal GSM-basisstations, dient hiertoe voor elke nieuwe zendinstallatie die sedert de publicatie van het K.B. van 21 december 2001 een dossier bij het BIPT ingediend te worden. Voor reeds bestaande antennes moet het dossier ingediend worden voor 31 december 2006. Indien uit de studie blijkt dat het elektromagnetisch veld afkomstig van de antenne in de voor het publiek toegankelijke plaatsen meer dan 5 % van de Belgische blootstellingsnorm (voor vermogensdichtheden of SAR-waarden) bedraagt, dient bij het BIPT een conformiteitsattest bekomen te worden, waarbij d.m.v. metingen ook rekening wordt gehouden met de andere aanwezige bronnen om de totale blootstelling te bepalen. Deze procedure moet garanderen dat de blootstelling aan elektromagnetische velden nooit de norm gegeven in het K.B. van 29 april 2001 overschrijdt (zie ook 4.2 | Toestand: radiofrequentie en microgolfstraling). In de periode 2001 - 2005 werden er 12 957 dossiers bij het BIPT ingediend. Slechts voor 2 % van deze dossiers werd de 5 %-drempel van de Belgische blootstellingsnorm op voor het publiek toegankelijke plaatsen overschreden, zodat een conformiteitsattest diende aangevraagd te worden.

Op Europees niveau wordt een regelgeving uitgewerkt in het kader van de R&TTE (Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment) directieve (1999/5/EC). Deze richtlijn stelt voorwaarden op voor het op de markt brengen van en in werking stellen van radio-installaties. De richtlijn heeft als doel om te verzekeren dat apparatuur die gebruikt wordt zoals voorgeschreven, de blootstellingslimieten in de Europese aanbeveling niet overschrijden (zie 3.2.2 | Doelstellingen). Deze richtlijn verzekert echter niet dat de apparatuur voldoet aan de Belgische richtlijn die vier keer strenger is dan de Europese.

De introductie van nieuwe digitale technologieën maakt het mogelijk om beter gebruik te maken van het schaarse frequentiespectrum om draadloos diensten aan te bieden. Dit zal dan ook gepaard gaan met een vermindering van het uitgezonden vermogen om een zelfde dienst aan te bieden. Anderzijds zullen de bestaande analoge technologieën (i.h.b. voor omroep) in de nabije toekomst niet door de nieuwe digitale technologieën vervangen worden, zodat beide technologieën naast elkaar zullen bestaan en bijgevolg een verhoging van het uitgezonden vermogen zullen betekenen. Bovendien zullen er in de toekomst meer en meer nieuwe diensten draadloos worden aangeboden, waarvoor ook een verhoging van het uitgezonden vermogen kan verwacht worden.

3.2.4 | Lekstraling bij microgolfovens (P)

Microgolfovens zijn zo ontworpen dat de microgolven binnen in de oven blijven en enkel aanwezig zijn als het toestel aangeschakeld en de deur gesloten is. Lekkage door het glas in de deur en door kieren langs de deur is beperkt en genormeerd. Om lekstraling zo veel mogelijk te vermijden is het belangrijk dat de oven goed onderhouden wordt. Ovens met

kapotte dichtingen of bekisting kunnen immers voor een grotere lekstraling zorgen (WHO, 2005c). De emissienorm voor de maximale lekstraling bij *microgolfovens* luidt:

- vóór verkoop: mag de intensiteit van maximale lekstraling op een afstand van 5 cm niet groter zijn dan 1 mW/cm^2 ;
- na verkoop: niet groter dan 5 mW/cm^2

Dit wordt telkens gemeten volgens de IEC-norm 335-2-25 (1988) met een standaardbelasting in de oven van 275 ml kraanwater aan 20°C . Gelijkaardige normen zijn van toepassing voor andere elektrische toestellen.

3.3 | Radiofrequentie en microgolfstraling in de omgeving

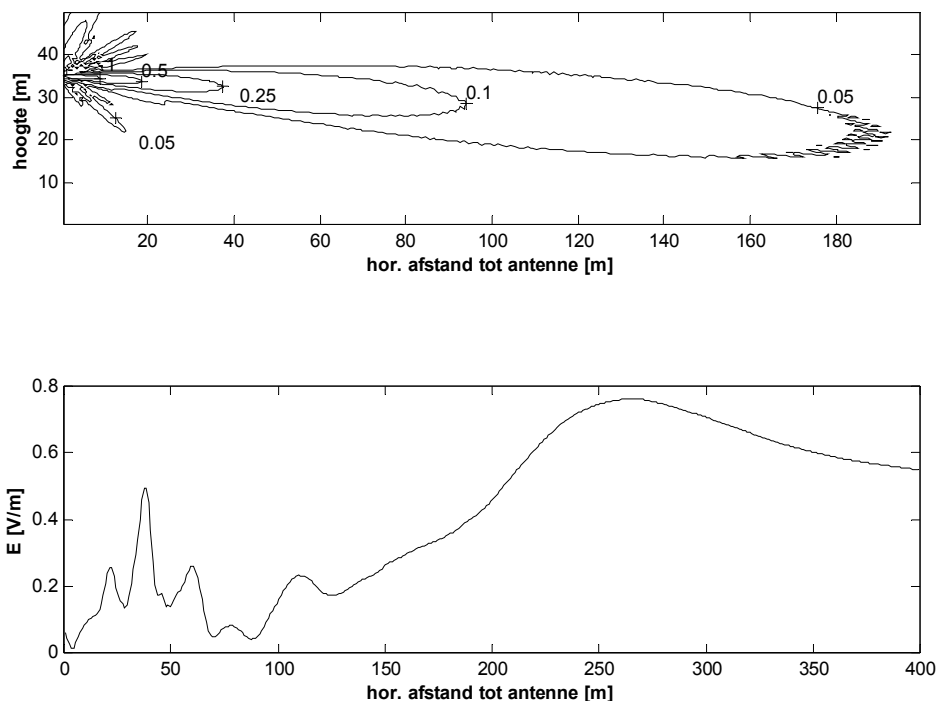
3.3.1 | Elektrisch veld rond GSM-zendmasten (S)

Algemene situatie rond een GSM-zendmast

De *maximum stralingsfluxdichtheid of vermogendichtheid* is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Uit schattingen blijkt dat op 20 meter afstand van een pyloon (20 W vermogen aan de ingang van de antenne, antennewinst 18 dBi) in de richting waar de antenne maximaal straalt, de vermogendichtheid p_{\max} ongeveer $0,25 \text{ W/m}^2$ (E-veld = 10 V/m) bedraagt en de p -waarde op de grond blijkt meestal lager te zijn. De gevonden waarde staat tegenover een Belgische norm voor p_{\max} van $1,12 \text{ W/m}^2$ ($20,6 \text{ V/m}$) voor de 900 MHz band. Bij antennes op daken kan de afstand korter zijn. Juist onder de antenne zijn evenwel de velden of de stralingsfluxdichtheid lager wegens de eigenschappen van het stralingspatroon van de antenne. Daarenboven kan het dak voor een zekere afscherming zorgen. Bij een basisstation is zodoende de straling laag maar kan de blootstelling langdurig zijn, bv. bij antennes op daken van scholen.

Figuur 20 illustreert het *verloop van het E-veld* dat berekend werd voor een typische macrocel-zendantenne (900 MHz-band; 20 W) die op een hoogte van 35 m op een pyloon geplaatst is. Op de bovenste figuur is de verhouding van het berekende elektrisch veld tot de Belgische limiet ($20,6 \text{ V/m}$ bij 900 MHz) gegeven in een vertikaal vlak doorheen de GSM-antenne. In de richting met maximale winst, liggen op een afstand van meer dan 10 m de veldwaarden onder de Belgische norm, voor afstanden groter dan 20 m zijn de elektrische veldwaarden teruggevallen op de helft van de Belgische norm en op 40 m is dit reeds minder dan een kwart van de Belgische referentiewaarde. Dit illustreert duidelijk het feit dat in één bepaalde richting het elektrisch veld omgekeerd evenredig is met de afstand tot de bron. Op de onderste helft van Figuur 20 is de sterke richtingsafhankelijkheid van de antenne geïllustreerd: op manhoogte (1,75 m) komen de maximale veldwaarden voor op het punt waar de hoofdbundel de grond raakt (d.i. op 250 m) en niet vlak onder de antenne. Voor de berekeningen werd enkel de invloed van de grond in rekening gebracht (dus geen blokkerende en/of reflecterende effecten van bebouwing of aanplanting). De berekende elektrische veldwaarden zijn enkel geldig in het verre-veld van de antenne.

Figuur 20: Contour in het verticaal vlak door een GSM-zendantenne, in de richting met de maximale winst, van de verhouding van het elektrisch-veld tot de Belgische referentiewaarde (bovenaan); elektrisch veld op een hoogte van 1,75 m boven de grond (onderaan)



Bron: Vakgroep Informatietechnologie (2003)

De toename van het aantal basisstations in het cellulaire systeem zal de elektromagnetische velden en dus ook de nodige vermogendichtheid doen dalen om een voldoende kwaliteit van de verbinding te waarborgen. Bijvoorbeeld het verdubbelen van het aantal basisstations betekent het halveren van de celoppervlakte, en ook van het uitgezonden vermogen en dus van de vermogendichtheid. Daar tegenover staat de toename in het landschap van het aantal antennes op daken of pylonen. Anderzijds zal, bij toenemende vraag naar mobiele telecommunicatiediensten (zie 3.1 | Bronnen van radiofrequente straling), het uitgezonden vermogen toenemen om voldoende capaciteit te kunnen aanbieden.

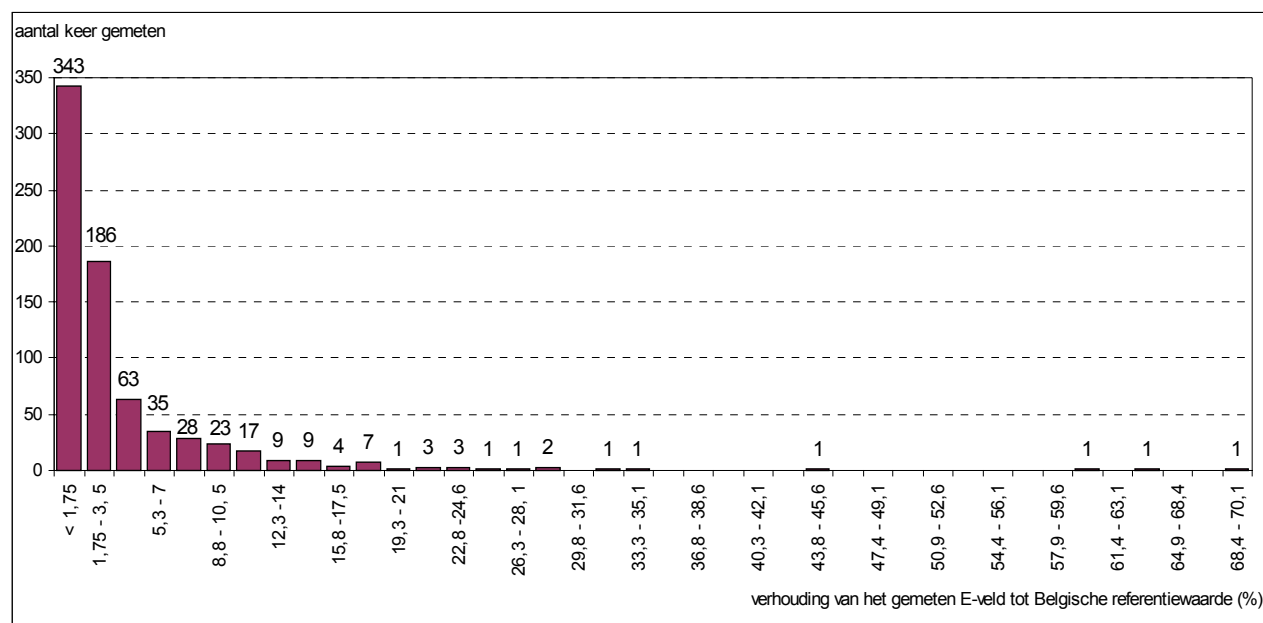
Situatie in Vlaanderen en België

Algemene meetgegevens van elektromagnetische veldwaarden in Vlaanderen ontbreken, omdat er geen meetcampagnes zijn uitgevoerd. Dergelijke meetcampagnes kunnen een overzicht geven van welke bronnen relevant bijdragen tot de blootstelling van elektromagnetische velden. Een periodieke herhaling van dergelijke meetcampagnes zou een beeld kunnen geven van de evolutie van de blootstelling aan elektromagnetische velden.

Fragmentarisch zijn er wel meetgegevens aanwezig. In Figuur 22 is een overzicht gegeven van de *meetresultaten rond GSM en UMTS-basisstations* (zowel in de 900 MHz-band, de 1 800 MHz-band als in de 2 000 MHz-band). Om de verhouding tot de Belgische norm te berekenen, werden de bijdragen van alle belangrijke signalen gecumuleerd. Hierbij is steeds een cumulatie van de aanwezige velden in de GSM900-, GSM1800- en UMTS-frequentieband uitgevoerd. Dit betekent dat de vermogensdichtheden in deze velden gewogen worden opgeteld (weging als gevolg van de frequentieafhankelijkheid van de normen) (Belgisch Staatsblad, 22-05-2001, ICNIRP, 1998). De metingen zijn uitgevoerd op algemeen toegankelijke plaatsen in en rond scholen, ziekenhuizen en appartementen. Analoge metingen van de magnetische velden zijn ook beschikbaar.

Figuur 21 toont het histogram van de gecumuleerde verhouding van het gemeten elektrische veld tot het referentieniveau voor 741 meetposities in de buurt van 90 GSM- en UMTS-basisstations in Vlaanderen t.o.v. de Belgische norm. In meer dan 71 % van de meetposities lagen de elektrische veldwaarden meer dan 20 maal onder de Belgische referentieniveaus, en slechts in 11,6 % van de posities was de gecumuleerde verhouding groter dan 10 % van de Belgische norm. De velden zijn veelal gemeten op toegankelijke plaatsen waar de uitgezonden velden maximaal waren. Dit geeft dus geen correct beeld van de typische blootstelling aan RF elektromagnetische straling in Vlaanderen maar wel een 'worst-case' beeld. Een meer uitgebreide studie is nodig om een blootstellingskaart van Vlaanderen te maken. Daarbij moet niet alleen rekening gehouden worden met GSM- en UMTS-straling maar ook met de bijdrage van alle andere bronnen van RF-straling.

Figuur 21: Histogram van de verdeling van de gecumuleerde verhouding van het gemeten elektrisch veld t.o.v. de Belgische norm (Vlaanderen, 1998-2005)



741 meetposities, metingen uitgevoerd volgens meetprocedure (Olivier, 2001).

Bron: Vakgroep Informatietechnologie, UGent (2005)

Het K.B. van 29 april 2001 duidt het Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie (BIPT) aan als controle-instantie voor de naleving van dat K.B. Sedert juni 2000 heeft het BIPT metingen van het elektrische veld uitgevoerd. Het histogram van de gemeten elektrische veldwaarden is gegeven in figuur 20. De gemeten elektrische veldwaarden hebben dezelfde grootte-orde als de metingen van de vakgroep Informatietechnologie. Deze figuur geeft het aantal meetpunten aan afhankelijk van het gemeten niveau. Zo geeft de eerste balk in het staafdiagram het aantal meetpunten waar het gemeten niveau tussen 0 V/m en 0,2 V/m ligt, de tweede balk het aantal meetpunten waar het gemeten niveau tussen 0,2 V/m en 0,4 V/m ligt ... Men kan zo constateren dat het gemeten niveau in de meeste gevallen lager is dan 1 V/m, en slechts uitzonderlijk hoger dan 3 V/m.

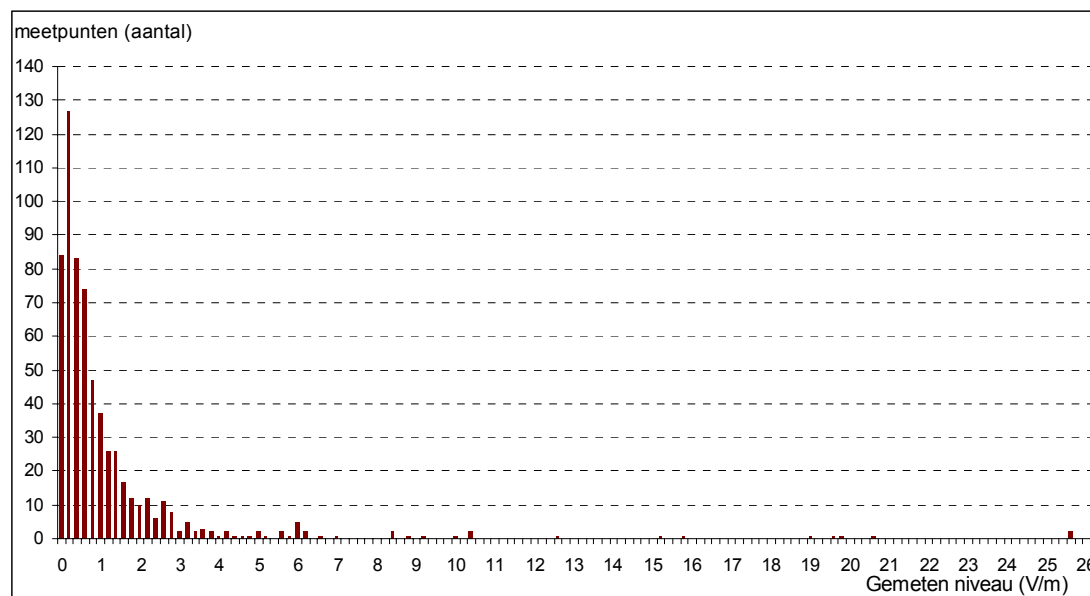
De metingen van het BIPT bevatten enkel de bijdrage van de GSM-zendantennes, en omdat de frequentie van de gemeten velden niet beschikbaar is, is een vergelijking met de blootstellingsnorm moeilijk. In vergelijking tot de referentieniveaus van de Belgische norm (Tabel 19) liggen de meetwaarden ver onder deze norm.

Tabel 19: Belgische referentieniveaus voor mobiele telefonie

Norm	Frequentieband	E (V/m)	H (A/m)
GSM900	900 MHz	20,6	0,055 (B= 0,068 μ T)
GSM1800	1 800 MHz	29,1	0,077 (B= 0,096 μ T)
UMTS	2 000 MHz	30,5	0,08 (B= 0,010 μ T)

Bron: KB van Belgisch Staatsblad van 22 mei 2001

Figuur 22: Histogram van het gemeten elektrische veld (België, 2000-2005)



Schaalverdeling horizontale as 0,2 V/m, GSM 900 - 1800: aantal meetpunten afhankelijk van het gemeten niveau, aantal dossiers: 267, aantal metingen: 631; laatste update 04-2005

Bron: Nationale Dienst voor de Controle op het Spectrum, BIPT (2005)

Situatie in onze buurlanden

In verschillende buurlanden werd met behulp van meetcampagnes de blootstelling aan elektromagnetische velden gekarakteriseerd. In *Duitsland* heeft de RegTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post) in 1992, 1996/1997 en in 1999/2000 een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd in het frequentiegebied 9 kHz – 18,5 GHz. In de eerste campagnes werden het elektromagnetisch veld op een duizendtal plaatsen gekarakteriseerd, in de campagne van 1999/2000 werden de elektrische velden op 3 600 posities gemeten. In juli 2005 is de dienst voor Telecommunicatie en Post ondergebracht in het Bundesnetzagentur. Een EMF-databank is beschikbaar op <http://emf.bundesnetzagentur.de>.

In *Frankrijk* voert de ANFR (Agence Nationale des Fréquences) sinds 2001 elektromagnetische veldmetingen uit. Tussen 2001 en 2004 is het aantal elektromagnetische veldmetingen uitgevoerd door de ANFR (in het frequentiegebied van 9 kHz – 30 GHz) toegenomen van een 100-tal tot bijna 4 000 metingen. Om de verdeling van de basisstations te visualiseren heeft men al deze antennes in kaart gebracht en beschikbaar gemaakt voor het publiek: CARTERADIO is de naam van deze digitale kaart (www.cartoradio.fr).

In *Groot-Brittannië* heeft de Radiocommunications Authority (RA) in de periode 2001-2002 een audit gedaan van de blootstelling aan elektromagnetische straling in scholen en ziekenhuizen gelegen in de nabijheid van een basisstation. In 2003 hield de RA op te bestaan en heeft Ofcom (Office Communication, www.ofcom.org.uk) de activiteiten van het RA overgenomen. In 2003 werd er opnieuw een de audit gehouden omtrent de blootstelling van basisstations in en rond scholen en ziekenhuizen. De resultaten (2004) zijn via internet beschikbaar onder de vorm van pdf- of doc-files. Er wordt in deze documenten een vergelijking gemaakt met normen voor blootstelling aan elektromagnetische straling.

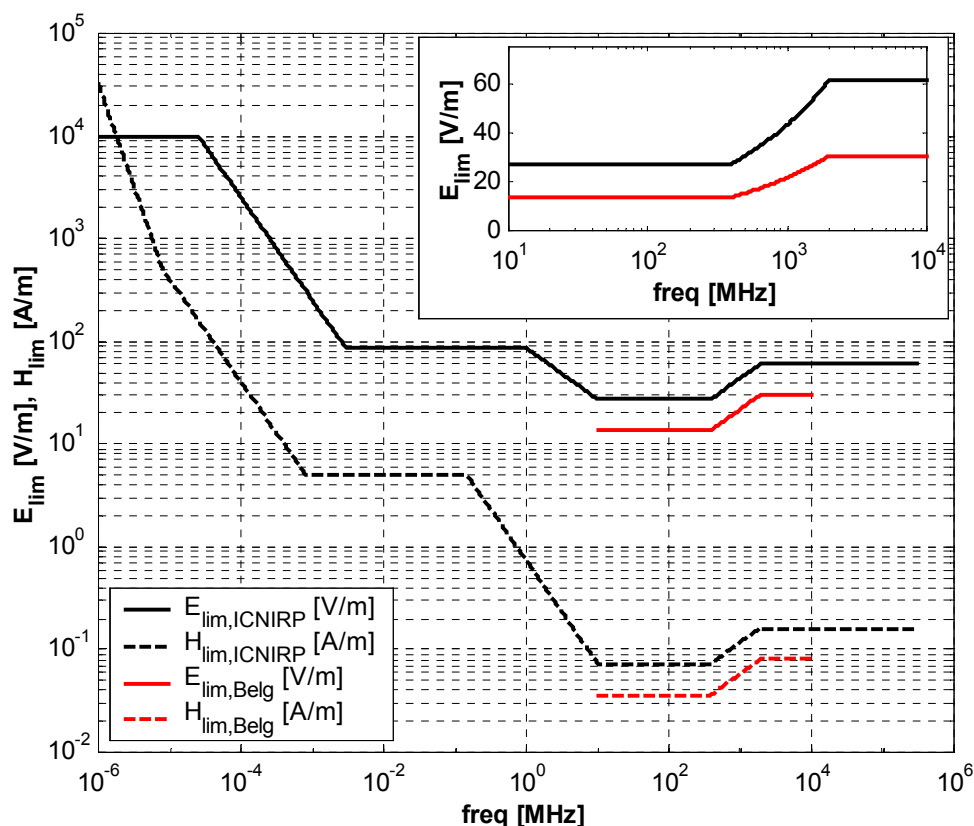
Omdat een geharmoniseerde procedure voor het meten van de blootstelling aan elektromagnetische velden ontbreekt, is een vergelijking tussen verschillende metingen moeilijk. Momenteel wordt op *Europees niveau* aan een dergelijke procedure gewerkt. CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation) ontwikkelt procedures om de blootstelling te karakteriseren. Het CENELEC comité TC 106x werkt aan een standaard voor 'put-into-service' van basisstations in hun operationele omgeving, rekening houdend met de cumulatieve blootstelling van andere bronnen.

3.3.2 | Doelstellingen

Op 12 juli 1999 heeft de *raad van de Europese Unie* een aanbeveling in verband met niet-ioniserende elektromagnetische straling uitgevaardigd (Raad van de EU, 1999). Deze aanbeveling bevat basisbeperkingen voor de absorptie van elektromagnetische velden door het menselijk lichaam. De basisbeperkingen voor absorptie zijn bepaald op basis van gekende opwarmingseffecten en een veiligheidsfactor. Vervolgens heeft men *referentieniveaus voor de elektromagnetische velden* berekend, zodanig dat bij blootstelling aan vlakke golven de basisrestricties niet worden overschreden. Voor de blootstelling aan elektromagnetische golven veroorzaakt door GSM-basisstations, bevindt de algemene bevolking zich meestal in het verre-veld en kunnen deze referentieniveaus gebruikt worden om na te gaan of de basisrestricties eventueel overschreden kunnen worden. Het voldoen aan de referentieniveaus kan veel gemakkelijker bepaald worden dan het voldoen aan de basisbeperkingen. Als de referentieniveaus voor de elektromagnetische velden niet worden overschreden, zal aan de basisbeperkingen voldaan zijn. Het omgekeerde geldt echter niet: het is mogelijk dat aan de basisbeperkingen voldaan wordt, maar dat de referentieniveaus toch overschreden worden (bv. sterkte van de velden van een mobiele telefoon in de buurt van het hoofd van de gebruiker).

Men maakt een onderscheid tussen referentieniveaus voor de algemene bevolking en de beroepsbevolking. De referentieniveaus zijn lager (dus strenger) voor de algemene bevolking dan voor de beroepsbevolking. Met de beroepsbevolking bedoelt men hier die groep van mensen die beroepshalve in aanraking komen met elektromagnetische straling. Dit zal steeds onder gecontroleerde omstandigheden moeten gebeuren. Figuur 23 geeft de referentieniveaus (rms-waarden van de velden) voor het elektrisch en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking mag worden blootgesteld. Deze richtlijnen zijn opgesteld door de International Commission for Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP, 1998). De niveaus zijn afhankelijk van de frequenties omdat de koppeling van het elektromagnetische veld met het menselijk lichaam zal verschillen in functie van de frequentie. Zo geldt als ICNIRP-referentieniveau voor de blootstelling aan een elektrisch veld (E) van 900 MHz een veldsterkte van 42 V/m terwijl dat bij 1 800 MHz 58 V/m bedraagt. Bij 2 000 MHz is dit ICNIRP-referentieniveau 61 V/m.

Figuur 23: Referentieniveaus voor het elektrisch en magnetisch veld waaraan de algemene bevolking maximaal continu mag worden blootgesteld



Bron: Raad van de EU, 1999, K.B. 29-04-2001 (Belgisch Staatsblad 22-05-2001)

Op 4 december 2000 werd een akkoord bereikt tussen de *Federale Ministers en de Waalse, Vlaamse en Brusselse Gewestministers van Leefmilieu en Ruimtelijke Ordening* over de *normering van zendmasten* voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Deze blootstellingsnorm bepaalt dat de operatoren het uitzendvermogen maximaal moeten beperken in functie van de technische noodzakelijkheden voor een kwalitatieve dienstverlening. In elk geval moet de totale blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden lager zijn dan 0,02 W/kg (uitgemiddeld over het ganse lichaam). 0,02 W/kg is de basisnorm die gebaseerd is op de SAR (zie 3.4.2 | Specifiek Absorptie Tempo (SAT) of Specific Absorption Rate (SAR)) en is een vaste waarde bij de veiligheidsfactor 200. Uitgedrukt in elektromagnetische veldsterkte komt dit neer op een referentienorm van 20,6 V/m (1,12 W/m²) bij 900 MHz, 29,1 V/m (2,24 W/m²) bij 1 800 MHz en 30,5 V/m (2,5 W/m²) bij 2 000 MHz. De elektromagnetische veldsterkte is geen vast getal en moet in de wetenschappelijke formule van de ICNIRP-richtlijn ingevuld worden waardoor de grenswaarden variëren volgens de frequentieband. De wetenschappelijke basis voor het bepalen van de norm is de ICNIRP-richtlijn. Vanuit het voorzorgsprincipe worden, zoals voorgesteld wordt door de HGR (Hoge gezondheidsraad), strengere maatregelen genomen waarmee de operatoren rekening moeten houden bij de inplanting van de masten. De invulling van het voorzorgsprincipe beoogt het milieu en de bevolking te beschermen tegen niet-ioniserende stralen afkomstig van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Tabel 20 geeft een overzicht van respectievelijk de ICNIRP-richtlijn en de Belgische norm voor verschillende frequentiegebieden binnen het domein van 10 MHz tot 10 GHz. Voor de berekening van de normwaarde per frequentieband wordt de frequentie in Tabel 20 steeds uitgedrukt in MHz.

Tabel 20: ICNIRP-richtlijn en Belgische norm in functie voor elektromagnetische straling tussen 10 MHz en 10 GHz

frequentie	ICNIRP veiligheidsfactor 50		Belgische norm volgens voorzorgprincipe veiligheidsfactor 200	
	vermogen- dichtheid (W/m ²)	elektrisch veld (V/m)	vermogen- dichtheid (W/m ²)	elektrisch veld (V/m)
10 – 400 MHz	2	27,5	0,5	13,7
400 MHz - 2 GHz	f/200	1,37√f	f/800 (900 MHz=1,12 W/m ²) (1 800 MHz=2,24 W/m ²)	0,686√f (900 MHz=20,6 V/m) (1 800 MHz=29,1 V/m)
2 – 10 GHz	10	61,4	2,5	30,7

Bron: KB van Belgisch Staatsblad van 22 mei 2001

Voor de overige frequenties gelden de Europese en internationale aanbevelingen.

De in Tabel 20 en Figuur 23 aangehaalde normwaarden zijn slechts van toepassing voor elektromagnetische velden met een zelfde golffrequentie. De Belgische norm voor samengestelde elektromagnetische velden in het frequentiedomein van 10 MHz tot 10 GHz houdt in dat het kwadraat van de som van het waargenomen elektrisch veld bij frequentie i (E_i) gedeeld door haar overkomstig referentieniveau (E_{iref}) van de normbepaling niet groter mag zijn dan 1 (zie formule)

$$\sum_{10\text{ MHz}}^{10\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{iref}} \right)^2 \leq 1$$

E_i is de waargenomen elektrische veldsterkte bij frequentie i en E_{iref} het overeenkomende referentieniveau voor de veldsterkte zoals gegeven in tabel 8. De formule garandeert dat de gecumuleerde SAR ten gevolge van de verschillende bronnen de basisrestricties niet kan overschrijden. Wanneer meerdere sterke signalen aanwezig zijn, zou het kunnen dat de blootstelling t.g.v. elke bron apart de limieten niet overschrijdt, maar de gecumuleerde blootstelling wel. Indien de blootstelling gekarakteriseerd wordt, moet dan ook de totale frequentieband beschouwd worden.

Zoals hierboven vermeld onder 3.2 | Opwekking van radiofrequente straling, moet, indien de bijdrage van de eigen bron tot de blootstelling groter is dan 5 % van de norm voor de vermogendichtheid, een conformiteitsattest aan het BIPT aangevraagd worden. Bij de procedure van het toekennen van dit conformiteitsattest wordt rekening gehouden met eventueel andere bronnen in de buurt.

Op 23 mei 2001 werd door het Vlaams Parlement de resolutie betreffende de inplanting van GSM-masten aangenomen. Samengevat vraagt het Vlaamse Parlement aan de Vlaamse regering om maatregelen te nemen i.v.m.:

- afdoende informatie voor de omwonenden;
- alternatieven zoeken voor inplantingsplaats van mast(en);
- GSM- en andere zendantennes die op minder dan 300 m van scholen of ziekenhuizen staan te behandelen als milieuvergunningsplichtig (klasse 2);
- ander zendantennes als meldingsplichtig (klasse 3) te beschouwen;
- het opmaken van databank van antennesites;
- maximale coördinatie tussen controlemetingen (BIPT) en Vlaamse overheid;

- het bevorderen van het wetenschappelijk onderzoek in Vlaanderen i.v.m. de gezondheidseffecten van GSM- en andere zendmasten (Vindevogel, 2001).

Constructeurs van zaktelefoons kunnen modellen ontwikkelen die minder absorptie in het hoofd veroorzaken. Toch kan gedeeltelijke afscherming hogere vermogens vereisen voor een goede ontvangst en dus meer blootstelling veroorzaken.

In 1998 verschijnen op de markt absorberende materialen om op de telefoon te plaatsen en het geabsorbeerde vermogen in het hoofd te reduceren. Of dit inderdaad zo is, moet nog door een onafhankelijk instituut wetenschappelijk worden bewezen. Het is niet zeker dat het materiaal de straling in de richting van het hoofd reduceert. Het kan ook het signaal naar het basisstation verzwakken waardoor de telefoon op een hoger vermogen moet uitzenden met meer absorptie in het hoofd voor gevolg.

3.4 | Gevolgen van radiofrequente straling op de mens

3.4.1 | *Epidemiologische en experimenteel literatuuroverzicht (I)*

Interactie van GSM-straling met het lichaam

Het oscillerend elektrisch veld van GSM-straling zal mobiele ionen in het lichaam doen bewegen. Dit resulteert in elektrische stroompjes die door de elektrische weerstand van het weefsel worden omgezet in warmte. De warmte-input zal lokaal de temperatuur doen stijgen tot een niveau waarbij er evenwicht is tussen de input en de afvoer van warmte vooral via doorbloeding en geleiding van en naar andere delen van het lichaam. Het duurt enkele minuten vooraleer dit evenwicht in het bestraalde deel bereikt wordt. Van Leeuwen *et al.* (1999) berekende dat een 915 MHz-antenne, met een gemiddeld zendvermogen van 0,25 W (equivalent van een typisch GSM-telefoon toestel opererend op maximaal vermogen), die naast het hoofd gehouden wordt een energieabsorptie van ongeveer 1,6 W/kg veroorzaakt in de hersenen met een maximale temperatuurstijging van 0,11°C voor gevolg.

Andere niet-thermische interactiemechanismen met het weefsel zoals celbewegingen, celpolarisatie, elektrische stromen in celmembranen, denaturatie van proteïnes en resonante absorptie zijn bestudeerd. Hun bestaan kon niet worden aangetoond maar kan ook niet met zekerheid worden uitgesloten (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000).

De fotonenergiequota van de GSM-straling zijn 4 en 7 µeV voor respectievelijk 900 en 1 800 MHz. Deze waarden zijn te laag om zelfs de zwakste chemische bindingen in moleculen te verbreken. Daarom is schade aan genetische moleculen (DNA) onmogelijk.

Effecten op het menselijk lichaam worden ingedeeld in thermische en niet-thermische effecten. *Thermische effecten* zijn het gevolg van de opwarming. De opwarming op zich leidt tot een reeks pathologische effecten in cellen en weefsels. *Niet-thermische effecten* zijn effecten die optreden zonder opwarming. Dikwijls moet er ook onderscheid gemaakt worden tussen biologische effecten en gezondheidseffecten t.g.v. de blootstelling aan elektromagnetische velden. Men spreekt van een *biologisch effect* indien er een merk- of meetbare fysiologische verandering in een biologisch systeem optreedt wanneer het biologisch systeem wordt blootgesteld aan de elektromagnetische velden. Een *gezondheidseffect* ontstaat wanneer het biologische effect niet meer door het lichaam kan gecompenseerd worden, wat leidt tot een nadelige gezondheidstoestand.

Epidemiologie

Tot op heden zijn nog maar weinig epidemiologische onderzoeken uitgevoerd naar het effect van mobiele telefoons op de gezondheid. Over de effecten van de straling van basisstations zijn nog geen studies verricht. Er bestaan wel epidemiologische studies over effecten van andere vormen van radiofrequentiestraling zoals radar en tv-zendmasten. Deze onderzoeken geven een indirecte indicatie over mogelijke risico's van mobiele telefonie.

Rotham *et al.* (1996) volgde in 1994 de sterfte in een groep van 250 000 mobiele telefoon-gebruikers. Hij vond geen significant verschil in *totale sterfte* tussen gebruikers van mobiele telefoons met antenne en gebruikers van telefoons die geen antenne op het toestel hadden en daardoor een lagere stralingsdosis ondergingen. De *sterfte door hersentumoren en leukemie* was laag en vertoonde geen verband met de dagelijkse gebruiksduur of jaren gebruik (Dreyer, 1999). Omdat de periode tussen het begin van blootstelling en het registreren van de kankersterfte kort is, kunnen uit deze studies maar weinig conclusies getrokken worden.

Hardell *et al.* (1999) voerde in Zweden een gevallencontrolestudie uit over *hersentumoren* en het gebruik van mobiele telefoons met 209 gevallen en 425 controles. Het gebruik van GSM-toestellen resulteerde in een relatief risico van 0,97 en het gebruik van NMT-toestellen (oude, niet meer gebruikte analoge mobilofonietechnologie) in een relatief risico van 0,94. Dosis-respons analyse en het aanwenden van verschillende tumorinductieperiodes gaven gelijkaardige resultaten. De relatieve risico's van 0,97 en 0,94 betekenen een ongeveer gelijk voorkomen van tumoren in de groep van mobiele telefoongebruikers en de controlegroep. Er werd wel een stijging gevonden van tumoren aan de zijde waar de telefoon gebruikt werd bij gebruikers van het NMT-systeem. De NMT-technologie gebruikt gelijkaardige stralings-intensiteiten als de huidige GSM-systemen, maar een lagere frequentie.

De epidemiologische studies over het effect van blootstelling aan andere vormen van radiofrequentiestraling en morbiditeit door *kanker* werden recent gereviewd (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000; Repacholi, 1997; Elwood, 1999; Royal Society of Canada, 1999). Hoewel in enkele studies een verhoogd risico wordt vastgesteld, besluit men dat er geen bewijs is dat radiofrequentiestraling het risico van kanker beïnvloedt. Maar omdat deze radiofrequentie studies veel methodologische zwakheden vertonen en de bestudeerde straling verschilt van de GSM-straling kan hieruit niet besloten worden dat GSM-straling vrij zou zijn van kankerrisico.

Ofstedal *et al.* (2000) bevroeg via een postenquête bij 11 000 gebruikers van mobiele telefoons de aanwezigheid van subjectieve *symptomen zoals hoofdpijn, moeheid, warmtegevoel* ter hoogte van het oor. Dertien procent van de Zweedse en 31 % van de Noorse deelnemers aan de studie rapporteerde minimaal één symptoom dat ze toeschreven aan het gebruik van het toestel. Het voorkomen van de symptomen steeg met de tijd van bellen per dag. Slechts weinigen hadden voor deze klachten een arts geraadpleegd of ziekteverlof genomen, maar 45 % van degenen die symptomen vertoonden, hadden stappen ondernomen om de symptomen te vermijden. De studie laat niet toe uitspraken te doen over de causaliteit van het verband. In een studie in Singapore stelde men een toename van hoofdpijn vast bij GSM gebruikers. Het optreden van hoofdpijn nam toe met de duur van gebruik van het toestel per dag. Gebruikers van hand-free toestellen hadden 20 % minder last van hoofdpijn.

Gezondheidseffecten andere dan kanker werden bestudeerd in relatie tot andere vormen van radiofrequentiestraling. Djordjevic *et al.* (1979) vond een toename van hoofdpijn, vermoeidheid, prikkelbaarheid en slaapstoornissen bij radaroperatoren. Robinette *et al.* (1980) vond in een groep van 40 000 personeelsleden van de Amerikaanse zeemacht die aan de Koreaanse oorlog deelgenomen hadden in de periode 1950 – 1954, geen verschil in ziekte (gemeten via het aantal hospitalisaties en invalideverklaringen) tussen degenen met potentieel hoge blootstelling (werken met radarapparatuur) en de rest. Ook de sterfte in beide groepen in de periode 1950 – 1974 verschilde niet wezenlijk.

In enkele andere studies werd geen toename van het optreden van *cataract* gevonden bij blootstelling aan radarstraling. Eén studie vond wel een significant verschil in discrete veranderingen van de lens en een andere studie vond meer oogirritatie. Smigielski *et al.* (1998) vond een daling van de amplitude van het dagritme van de *bloeddruk en het hartritme* bij 61 radio-operatoren. Borkiewicz *et al.* (1995) vond een gelijkaardige ontregeling van de hartfunctie bij 93 werknemers van AM zendstations. Andere studies vonden niet meer abnormale electrocardiogrammen bij aan radargolven blootgesteld. Hamburger *et al.* (1983) vond bij mannelijke Amerikaanse fysiotherapeuten een significant verband tussen de frequentie van het gebruik van kortegolfapparatuur en het voorkomen van hartziekten (in de meeste gevallen i.v.m. ziekten van de kransslagaders of coronair lijden). Goldini (1990) vond een daling van het *aantal witte bloedcellen en bloedplaatjes* bij radartechnici. Andere studies

vonden dit effect niet. Verschillende studies hebben de effecten op de *voortplanting* bestudeerd bij vrouwelijke fysiotherapeuten die radiofrequentiestraling gebruikten bij de behandeling van hun patiënten. Globaal gezien tonen deze studies geen verband aan met spontane abortus of andere intra-uteriene effecten (The Royal Society of Canada, 1999).

Experimenteel onderzoek (proefdieren)

De eerder geciteerde Reflex-studie (in vitro onderzoek) (REFLEX, 2004) heeft ook in het radiofrequent deel van het elektromagnetisch spectrum biologische effecten vastgesteld. Menselijke fibroblasten en granulosa-cellen van ratten werden gedurende 4, 16 en 24 uren blootgesteld aan 1 800 MHz (GSM-frequentie), intermitterend (5 minuten aan, 10 minuten uit) en ononderbroken, SAR 1,2 of 2 W/kg wat de onderzoekers als 'athermisch' karakteriseren. Na 16 uren blootstelling werden bij beide celtypes enkelvoudige en dubbele breuken in het DNA vastgesteld. De effecten bleken meer uitgesproken te zijn bij een intermitterende dan bij een ononderbroken blootstelling.

Door het gebruik van de GSM-telefoons ter hoogte van het hoofd is er veel aandacht voor mogelijke effecten op *het centraal zenuwstelsel*. De mogelijkheid dat GSM-straling het zenuwstelsel beïnvloedt, is in verschillende experimentele systemen (proefdieren) onderzocht. Er is consistent bewijs dat wijzigingen in *zenuwactiviteit en gedrag* optreden bij proefdieren wanneer de straling aanleiding geeft tot een opwarming van 1°C of meer (Hermann & Hossman, 1997). Bewijzen dat deze effecten optreden bij lagere intensiteiten, zijn meestal niet consistent en niet overtuigend. Sommige studies bij proefdieren suggereren echter dat lagere stralingsintensiteiten bij specifieke energieniveaus en frequenties van amplitudemodulatie membraanproteïnes, de calciumionflux door de membranen van de neuronen en EEG-ritmes kunnen wijzigen (Repacholi, 1997). De relevantie van deze onderzoeksresultaten voor de mobiele telefonie en menselijke gezondheid is nog onduidelijk.

De ooglen is een potentieel gevoelig orgaan, aangezien het een beperkte doorbloeding heeft en daardoor ingestraalde warmte minder goed kan afvoeren dan andere weefsels. In experimenteel onderzoek met konijnen veroorzaakten hoge stralingsintensiteiten cataract. Uit studies met acute blootstelling blijkt hiervoor een veilige drempel te bestaan die rond de 1 500 W/m² gedurende 1 uur ligt. Dergelijke vermogensdichtheid is meer dan honderd maal groter dan de normen voor GSM-straling. Bij primaten werd met lage stralingsintensiteiten geen oculair effect gevonden.

Sommige experimentele studies bij proefdieren suggereren dat radiofrequentiestraling *tumoren* kunnen initiëren, effecten van gekende *carcinogenen* versterken of de groei van getransplanteerde tumoren doen toenemen. De stralingsintensiteit in deze studies is echter vaak voldoende om thermische effecten te veroorzaken.

De globaliteit van de studies, zowel in vitro als in vivo, leidt tot de conclusie dat zowel acute als chronische blootstelling aan radiofrequentiestraling geen toename van *mutaties of chromosoom-wijzigingen* veroorzaken als de temperatuurstijging binnen fysiologische grenzen gehouden wordt (Verschaeve, 1998; Repacholi *et al.*, 1997).

De langetermijnstudies van *kankerinductie* bij proefdieren die epigenetische effecten (verstoring van cellulaire processen die een rol spelen in het ontstaan van kanker) bestuderen, zijn dubbelzinnig. Sommige studies vinden een effect, andere niet (Independent Expert Group On Mobile Phones, 2000). Verder onderzoek is lopende.

Thermische niveaus van radiofrequentiestraling veroorzaken tijdelijke en omkeerbare wijzigingen in het *immuunsysteem* bij proefdieren. Lagere blootstellingsniveaus geven tegenstrijdige resultaten waarbij het moeilijk is de effecten toe te schrijven aan de blootstelling. Er werden geen effecten op het bloedvormend systeem gevonden bij proefdieren. In studies bij knaagdieren werden bij veldsterktes vergelijkbaar bij deze gebruikt in de mobiele telefonie, geen effecten gevonden op *voortplanting* en mannelijke fertiliteit. Bij intra-uteriene blootstelling aan vrij hoge veldsterktes werden geen morfologische en orgaanafwijkingen vastgesteld bij proefdieren. Hoge stralingsintensiteiten die een stijging van de lichaamstemperatuur veroorzaken, hebben bij proefdieren een invloed op het *cardiovasculair systeem*, vergelijkbaar

met temperatuurverhogingen ten gevolge van andere oorzaken. Normale GSM-stralingsniveaus veroorzaken geen wijzigingen in hartritme en bloeddruk. Studies naar het effect van radiofrequentiestraling op de levensduur van knaagdieren tonen meestal geen effect (Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000).

Tabel 21 vermeldt verschillende biologische effecten die in experimenten in het laboratorium werden waargenomen.

Experimenteel onderzoek (mensen)

Alhoewel er redelijk wat bezorgdheid is omtrent mogelijke effecten van mobiele telefoons op de *hersenfuncties van mensen* is er nog maar weinig experimenteel onderzoek uitgevoerd. Slechts enkele studies (Preece *et al.*, 1999; Koivisto *et al.*, 2000) die zich beperken tot mogelijke kortetermijneffecten op cognitieve prestatie, werden uitgevoerd. Ze komen tot gelijkaardige resultaten: straling van een GSM-toestel (900 MHz en 0,25 W) verkort de reactietijd. Dit positief effect neemt toe met de cognitieve eisen van de test. GSM-straling zou derhalve bij lage intensiteiten biologische effecten veroorzaken die voldoende groot zijn om het gedrag te beïnvloeden. Preece *et al.* (1999) veronderstelt dat kleine temperatuurstijgingen in de hersencortex, ter hoogte van het GSM-toestel, de zenuwgeleiding doen toenemen. Langetermijneffecten zijn niet onderzocht.

In 2003 werd in Nederland, in opdracht van de overheid, de subjectieve klachten die aan GSM-basistations worden toegeschreven nader onderzocht (Zwamborn *et al.*, 2003). Het onderzoek werd uitgevoerd met twee groepen met elk 36 proefpersonen, waarvan een groep van zichzelf zei dat ze 'hypersensibel' was aan elektromagnetische straling die van GSM afkomstig was. Er werd gepoogd een relatie te vinden tussen blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van een GSM-basisstationantenne en meetbare effecten bij mensen. Het ervaren welzijn en de cognitieve prestaties werden gemeten aan de hand van verschillende vragenlijsten en cognitieve testen. Er werd een statistisch significante relatie gevonden tussen de aanwezigheid van radiofrequente velden die lijken op een UMTS-basisstationsignaal en het ervaren welzijn van de proefpersonen. Verder werd er eveneens een statistisch significante relatie gevonden tussen de uitgevoerde taak en het al dan niet aanwezig zijn van het elektromagnetisch veld. Deze bevindingen gelden zowel voor UMTS, GSM900 als GSM1800. De onderzoekers vinden voorlopig geen biologisch mechanisme dat hieraan ten grondslag zou liggen. De onderzoekers stellen dat tijdens het onderzoek lage veldsterkten werden gebruikt, vergelijkbaar met die afkomstig van een basisstation in normaal regime, en dat het dus onwaarschijnlijk is dat de gevonden effecten van thermische oorsprong zouden zijn.

Meerdere studies behandelden wijzigingen in het electro-encephalogram (EEG) ten gevolge van GSM-straling. De resultaten zijn tegenstrijdig. Sommige elektrofysiologische studies suggereren dat blootstelling aan straling van mobiele telefoons de hersenfuncties beïnvloedt. De evidentie lijkt voldoende groot om verder onderzoek te rechtvaardigen, vooral voor wat betreft het effect op het EEG tijdens cognitieve taken en tijdens de slaap. Hierbij moet wel vermeld worden dat noch de biologische, noch de klinische relevantie van deze bevindingen duidelijk is.

In oude Russische studies werden *bloeddrukdaling en hartritmewijzigingen* bij de mens beschreven als gevolg van radiofrequentiestraling. Deze studies zijn echter van bedenkelijke kwaliteit. Recent stelde Braune *et al.* (1998) in een experiment met vrijwilligers, een stijging van de bloeddruk, van het hartritme en een gedaalde doorbloeding vast tijdens het gebruik van een klassiek GSM900 toestel. Deze studie heeft kritiek gekregen omwille van het studieontwerp en de statistische analyse en is nog niet herhaald.

Effect op pacemakers en andere elektronische implantaten

In toenemende mate wordt bij de behandeling van bepaalde categorieën patiënten gebruik gemaakt van implanteerbare medische hulpmiddelen zoals pacemakers en insulinepompjes. Elektromagnetische straling kan in bepaalde omstandigheden de goede werking van deze toestellen verstoren (*elektromagnetische compatibiliteit of EMC*). Zo kunnen mobilfoons

storingen veroorzaken op geïmplanteerde elektronische apparaten (bv. pacemakers, hoorapparaten) (Kuster *et al.*, 1997). Opdat de gebruikte toestellen voldoende ongevoelig zouden zijn, stelt de Europese richtlijn 90/385/EEG essentiële eisen aan de elektromagnetische immuniteit van deze apparaten. Deze eisen zijn nader uitgewerkt in technische normen die vaststellen tegen welke minimale veldsterkte deze apparaten bestand moeten zijn. Voor medische apparatuur in ziekenhuizen geldt een norm van 3 V/m voor het frequentiegebied van 26 tot 1000 MHz. Nieuwere types van deze geïmplanteerde apparaten zijn dan ook beter bestand tegen de elektromagnetische straling.

Uit onderzoek blijkt dat interferentie effectief mogelijk is. Het grootste onderzoek naar interferentie met *hartpacemakers* werd uitgevoerd door Hayes *et al.* (1997) met 5 verschillende telefoontoestellen bij 980 patiënten. De patiënten werden elektrocardiografisch gemonitord terwijl het telefoontoestel ter hoogte van het oor aan dezelfde zijde en ter hoogte van de pacemaker werkte met maximaal vermogen. Een of andere vorm van interferentie van de gsm op de pacemaker werd in 20 % van de 5 533 tests waargenomen en de incidentie van symptomen (onder meer hartritmestoornissen of arytmieën) bij de patiënt was 7,2 % waarvan 6,6 % klinisch significant waren. Klinisch significante interferentie werd enkel waargenomen wanneer het toestel ter hoogte van de pacemaker werd gehouden. Andere studies vonden gelijkaardige resultaten. Een zeer recente Amerikaanse studie (Tri *et al.*, 2005) testte 16 verschillende *medische toestellen* op interferentie van 6 verschillende nieuwere types gsm-toestellen. De toestellen werden getest wanneer ze (bijna) hun maximum vermogen uitzonden. Van de 510 uitgevoerde tests bedroeg de incidentie van klinisch relevante interferentie 1,2 %. Elektromagnetische interferentie werd in 21,2 % van de tests vastgesteld. Bij 7 (44 %) van de 16 medische toestellen werd er interferentie vastgesteld. Wanneer de afstand tot de apparatuur in kwestie meer dan een meter bedroeg, werd er geen interferentie vastgesteld. Uit vergelijking met vroegere studies blijkt dus dat de huidige generatie gsm-toestellen dichter bij toestellen voor medisch gebruik kan gehouden worden alvorens enige interferentie waar te nemen. Implanterbare cardioverter-defibrillators blijken minder gevoelig te zijn voor GSM-straling. De Nederlandse Gezondheidsraad (2000) adviseert om een minimale afstand van 15 cm te behouden tussen de ingeschakelde draagbare telefoon en de geïmplanteerde pacemaker.

De UMTS-technologie zou minder storing veroorzaken omdat zij in tegenstelling tot de GSM-technologie geen sterk pulserende signalen gebruikt.

Tabel 21 Domeinen waarin biologische gevolgen van extreem-laagfrequente velden en radiogolven/microgolven werden beschreven.

	radio- en microgolven
veranderingen ter hoogte van het centraal zenuwstelsel en de bloed-hersen barrière	+
veranderingen ter hoogte van (neuro)endocriene systemen	+
gedragswijzigingen	+
veranderingen ter hoogte van het cardiovasculair en cerebrovasculair systeem	+
erfelijke afwijkingen en kanker	+
hematologische veranderingen (bloedspiegel enz.)	+
gehooreffecten	+
cataract (staar)	+
misvormingen van de vrucht	+
groei- en ontwikkelingsstoornissen	+
subtiële fysiologische veranderingen	+
afwijkingen in de afweer tegen ziektekiemen	+
thermoregulatiestoornissen	+
stofwisselingsstoornissen	+
veranderingen in de doorlaatbaarheid van celmembranen	+
stimulatie van beendergroei en –herstel	-

+: biologische effecten werden beschreven; -: biologische effecten werden niet beschreven.

Bron: Verschaeve (1995)

Besluit

Wanneer de veldsterkte van de RF-straling voldoende groot is treedt er opwarming op van het bestraalde weefsel. Deze opwarming initieert op haar beurt andere processen die schadelijk zijn. Over het bestaan van deze thermische effecten en de gezondheidsschade die ze teweegbrengen is geen discussie. Voor wat betreft de biologische, niet-thermische effecten zijn er goede aanduidingen dat blootstelling aan straling van mobiele telefoons de elektrische activiteit en de cognitieve functie van de hersenen beïnvloeden. Het is dringend nodig dat deze effecten verder worden bestudeerd, zowel voor wat betreft het biologisch mechanisme dat aan de grondslag van dit effect ligt, als voor de consequenties die dit effect heeft voor de menselijke gezondheid.

Uit epidemiologische studies blijkt niet dat radiofrequentiestraling kanker veroorzaakt. Deze conclusie sluit aan bij het experimenteel onderzoek waaruit blijkt dat veldsterkten zoals ze door de mobiele telefonie geproduceerd worden, geen mutaties, kankerinitiatie en kankerpromotie veroorzaken. Anderzijds moet hier opgemerkt worden dat GSM-telefoons nog niet lang genoeg in gebruik zijn om degelijke epidemiologische onderzoeken mogelijk te maken. De mogelijkheid dat GSM-straling kanker veroorzaakt kan daarom niet met zekerheid worden uitgesloten.

Uit onderzoek blijkt dat het onwaarschijnlijk is dat normaal voorkomende GSM-straling nadelige effecten heeft op het hart, het bloed, het immuunsysteem en de voortplanting. Interferentie met pacemakers is wel mogelijk.

Wanneer men de blootstelling aan elektromagnetische velden t.g.v. GSM-basisstations meet, maakt men enkele veronderstellingen. Wanneer gemeten elektromagnetische velden vergeleken worden met referentieniveaus, bieden de referentieniveaus een zekere bescherming aangezien door deze te bepalen rekening werd gehouden met maximale koppeling tussen elektromagnetisch veld en menselijk lichaam. Bovendien worden de metingen meestal uitgevoerd op posities waar men een groot elektromagnetisch veld verwacht, maar niet noodzakelijk waar de mensen zich hoofdzakelijk bevinden. Tenslotte wordt aangenomen wanneer de gemeten elektromagnetische velden met de normen worden vergeleken, dat het GSM-basisstation continu, met alle zenders, op maximaal vermogen uitzendt. De werkelijke SAR, uitgemiddeld over het volledige lichaam, zal normaal gezien veel lager liggen dan de SAR bepaald d.m.v. elektromagnetische metingen.

Maatregelen

Hier worden enkele maatregelen in verband met mobilofonie vermeld. Gezien de twijfels die bij sommige onderzoekers blijven bestaan over nadelige effecten, zijn volgende aanbevelingen nuttig:

- gebruik een vaste telefoon zonder antenne wanneer deze voorhanden is;
- schakel de telefoon uit wanneer deze niet in gebruik is;
- de gebruiker met een pacemaker vermijdt het gsm-toestel te plaatsen in een borstzakje;
- schakel de het gsm-toestel uit in ziekenhuiszones met gevoelige apparatuur;
- ontmoedig het bezit van de zaktelefoon in scholen en in het bijzonder in het basisonderwijs
- leg de zaktelefoon niet in 'standby' bij de baby in de kinderwagen.

3.4.2 | *Specifiek Absorptie Tempo (SAT) of Specific Absorption Rate (SAR) (I)*

Als de elektrische en magnetische velden of de vermogendichtheid in een gebied gekend zijn, kunnen theoretische modellen de depositie in de mens bepalen. Maatstaf voor de depositie bij mobilfoonfrequenties is de '*Specific Absorption Rate*' (SAR) of *specifiek absorptietempo* (SAT) [W/kg]. De depositie is afhankelijk van de sterkte van de bron, de aard van de bron (frequentie, antennevorm ...) en de afstand tot de bron (Kuster, 1997) en ook van de veldpolarisatie (E-, H- of K-polarisatie) of de opstelling van het blootgestelde individu t.o.v. het invallende veld (Joseph, 2003, 2005). Enerzijds is de SAR groter wanneer het E-veld meer

evenwijdig dan loodrecht op het lichaam gericht is (E-polarisatie) en anderzijds is de SAR ook groter wanneer het H-veld loodrecht op de grootste lichaamsdoorsnede staat dan wanneer het loodrecht op de kleinste lichaamsdoorsnede staat. De SAR wordt niet rechtstreeks op de mens gemeten maar men neemt hiervoor zijn toevlucht tot zogenaamde fantomen ('phantoms'): voor het meten van de SAR tijdens het gebruik van mobiele telefoons maakt men gebruik van een standaard fantoomhoofd, door middel van industriële robots en aangepaste software wordt de SAR in drie dimensies doorheen dit hoofd gekarakteriseerd. De bepaling van de SAR is zeer moeilijk wegens de complexiteit van de mens en de elektromagnetische straling uitgezonden door de telefoon (Martens, 1994). Toch bevestigen alle studies dat 50 % of meer van het vermogen uitgezonden door een telefoon met klassieke draadantenne geabsorbeerd wordt in het hoofd. De SAR is meestal maximaal nabij het oor en neemt vrij snel af dieper in het hoofd van de gebruiker. De SAR is zeer afhankelijk van het type telefoon. Microwave News (1997) vermeldt dat de maximale SAR bij 16 GSM mobilofoons varieert tussen 0,28 W/kg en 1,33 W/kg. De 16 toestellen voldoen aan de Europese norm van 2 W/kg. Een SAR_{max} van 1,33 W/kg komt wel dicht in de buurt van de voorgestelde grens. Nieuwe technologie vereist nieuw onderzoek. Tegenwoordig zijn fabrikanten van mobilofoons in het kader van de R&TTE directieve (1999/5/EC) verplicht een conformiteitsverklaring te geven waarin gesteld wordt dat de maximale lokale SAR van de telefoon onder de Europese norm ligt. Recente modellen hebben een maximale lokale SAR die kleiner is dan 1 W/kg.

De SAR in het mobilfoonfrequentiegebied zal dalen met het verkleinen van de cellen, met een evenredig lager vermogen gebruikt door het gsm-toestel. De blootstelling door de basisstations zal evenredig stijgen met het aantal operatoren met elk een volledige bedekking van het grondgebied, maar de depositie veroorzaakt door een antenne op een basistation op afstanden waar de algemene bevolking zich bevindt, is zeer laag.

Voor een onbeperkte blootstelling van het hele lichaam geldt algemeen:

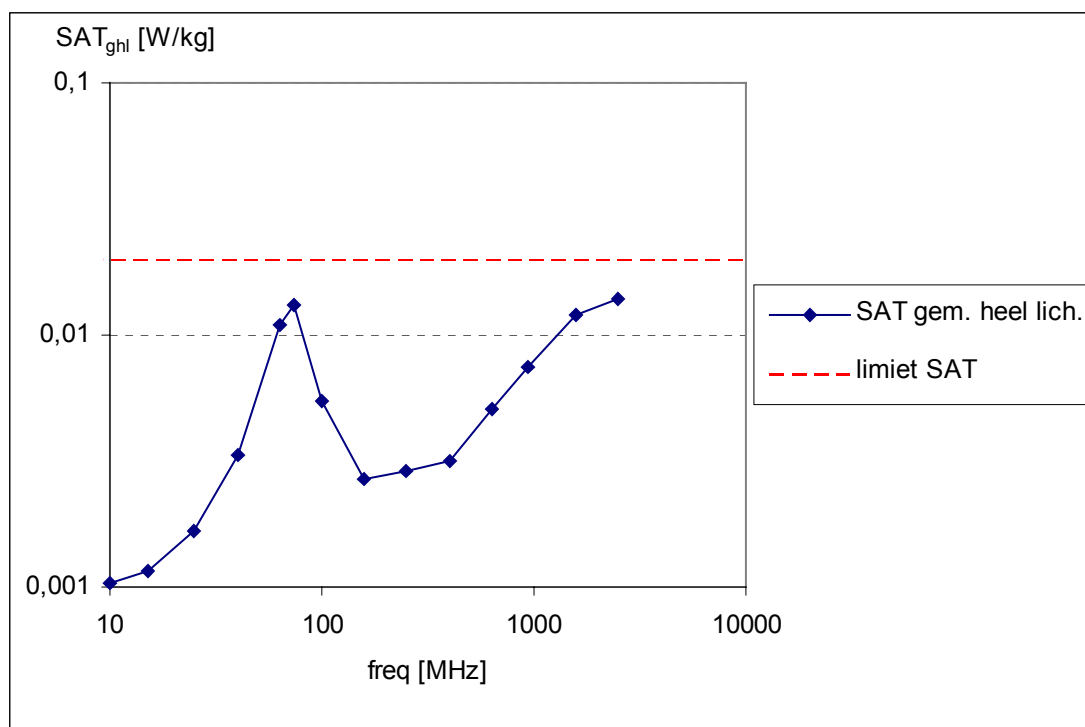
$$SAR \leq 0,08 \text{ W/kg (ICNIRP-richtlijn)} \quad SAR \leq 0,02 \text{ W/kg (Belgische norm)}$$

Om allerlei redenen, zoals een controleerbare blootstelling, het op de hoogte zijn van de mogelijke risico's en het kunnen nemen van voorzorgsmaatregelen, zal men bij beroepsmatige blootstelling een hogere waarde toelaten. Dan geldt:

$$SAR_{prof} \leq 0,4 \text{ W/kg (ICNIRP-richtlijn)}$$

Deze grens is geldig voor een gehele lichaamsblootstelling uitgemiddeld over periodes van 6 minuten. In Figuur 24 en Tabel 22 is in functie van de frequentie, de SAR of SAT uitgemiddeld over het hele lichaam gegeven bij een blootstelling aan een vermogendichtheid corresponderend met het Belgische referentieniveau. Eveneens is de maximale Belgisch SAR-limiet (0,02 W/kg) met stippellijn aangeduid. De SAR-waarden werden in het menselijk lichaam berekend met behulp van elektromagnetische simulatiesoftware (FDTD-software). Het invallend veld was een vlakke golf en de mens bevond zich in de vrije ruimte. Men ziet duidelijk bij 75 MHz het resonantie-effect van het menselijk lichaam. Hieruit blijkt ook dat in dit geval de referentieniveaus een bijkomende veiligheidsfactor bieden, t.o.v. de basisrestricties.

Figuur 24: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het Belgisch referentieniveau



Bron: Simulaties vakgroep Informatietechnologie, UGent (2003)

Tabel 22: SAT-waarde i.f.v. de frequentie uitgemiddeld over het hele lichaam bij blootstelling aan een vermogendichtheid bij het Belgische referentieniveau

freq [MHz]	SAT _{ghl} [W/kg]
10	0,001
15	0,001
25	0,002
40	0,003
63	0,011
73	0,013
100	0,006
158	0,003
251	0,003
398	0,003
631	0,005
947	0,007
1 585	0,012
2 512	0,014

Bron: Simulaties vakgroep Informatietechnologie, UGent (2003)

Voor gedeeltelijke blootstellingen van het lichaam stelt de Hoge Gezondheidsraad België (HGR, 2000) een SAR-grenswaarde voor van 2 W/kg voor het algemeen publiek en 10 W/kg voor de beroepsbevolking. In beide gevallen gebeurt de uitmiding over ieder interval van 6 minuten en over iedere 10 gram weefsel. Tabel 23 geeft een overzicht van de internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons.

Tabel 23: Internationale limietwaarden van de SAR voor mobiele telefoons

	Australië ACA	USA ANSI C95.1 AN	Europa ENV50166	Japan TTC/MPT	N. Zeeland NZS2772	Taiwan DGT
geheel lichaam (W/kg)	0,08	0,08	0,08	0,04	0,08	0,08
ruimtelijke Piek (W/kg)	1,6	1,6	2	2	2	1,6
uitmiddelingsstijd (min)	6	30	6	6	6	30
gemiddelde massa (gram)	1	1	10	10	10	1

Bron: Microwave Engineering (2001)

4. | Ultraviolette en infrarood straling

4.1 | Bronnen van UV-straling en infrarood

De doelgroepen voor de blootstelling aan ultraviolette straling (UV) en lasers kunnen als volgt opgesplitst worden:

Industrie

- kunststof-, lak-, drukwerkindustrie (UV-verharders), gebruikers van UV-C voor oppervlaktereiniging, ontsmetting, sterilisatie of waterzuivering, gebruikers van UV-fluorescentie detectoren voor afwijkingen van metalen en voor identificatiedoeleinden;

Handel & diensten

- tandartsen (UV-verharders)
- zonnebankcentra
- laboratoria (desinfectie van ruimten)

Niet-specifieke doelgroepen

- andere gebruikers van UV-lampen, halogeenlampen, gloeilampen, gasontladingslampen, boogglasapparatuur.

4.2 | Aanwezigheid van UV-licht in de omgeving

Voor *UV-straling* zijn richtlijnen (Tabel 24) alleen van toepassing op golflengten hoger dan 180 nm. UV-stralen met golflengten beneden 180 nm zijn immers biologisch van weinig of geen betekenis, omdat zij onmiddellijk door de lucht worden geabsorbeerd. Speciale aandacht gaat daarbij naar de zogenaamde *actinische straling*, die een chemische werking heeft op sommige lichamen. De richtlijnen geven de maximum blootstellingslimiet waarvan wordt verwacht dat praktisch alle individuen er herhaaldelijk aan mogen worden blootgesteld zonder er nadeel van te ondervinden. Gezien de verschillende huidtypes en interindividuele verschillen in gevoeligheid wordt het meest gevoelige huidtype als referentietype genomen. De richtlijnen gelden zowel voor gepulseerde als voor continue UV-bronnen. In het geval van continue blootstelling wordt deze gekwantificeerd in termen van bestralingssterkte (W/m^2); in het geval van in de tijd gelimiteerde of gepulseerde blootstelling spreekt men van bestralingsdosis (J/m^2). Wegens een hogere gevoeligheid van de ogen voor UV-A straling in vergelijking met de huid (o.m. mogelijkheid tot cataract), hebben zij een lagere toelaatbare dosis.

Tabel 24: UV-bestralingslimieten voor zowel beroepsbevolking als de algemene bevolking, uitgedrukt als een bestralingsdosis voor een periode van 8 uur.

UV-stralingstype		Golflengte (nm)	Bestralingsdosis (J/m ²)
UV- A	Ogen	315 – 400	$1,0 \times 10^4$
	Huid	315 – 400	$1,0 \times 10^4 - 1,0 \times 10^6$
UV-B	Ogen	280 – 315	$34 - 1,0 \times 10^4$
	Huid	280 – 315	$34 - 1,0 \times 10^4$
UV-C	Ogen	180 – 280	$34 - 2\ 500$
	Huid	180 – 280	$34 - 2\ 500$

Bron:

Blootstellingslimieten voor actinische straling uitgedrukt in tijdslimieten voor een specifieke bestralingssterkte variëren van 8 uur voor een bestralingssterkte van 0,001 W/m² tot 1 seconde voor 30 000 W/m² (IRPA, 1985).

Het plaatsen van tijdschakelaars en het dragen van oogbeschermers en eventuele andere beschermende kledij is onontbeerlijk voor een minimale blootstelling.

4.3 | Gevolgen van UV-straling en lasers op de mens

4.3.1 | UV straling

UV-stralen bevinden zich op de grens tussen ioniserende en niet-ioniserende stralen. Hun gevolg kan naar gelang de golflengte (UV-A, UV-B of UV-C) of naargelang de intensiteit verschillen en kan voor een deel aan ionisaties te wijten zijn. (zie Achtergronddocument Ioniserende straling)

Overmatige blootstelling aan UV van de zon en van kunstmatige bronnen is momenteel een belangrijk gegeven dat met een zekere bezorgdheid door de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) gevolgd wordt. Reizen naar zonovergoten streken enerzijds en het gebruik van de zonnebank anderzijds hebben de laatste jaren een enorme vlucht gekend. Gebruinde lichamen worden al te vaak en zeker onterecht geassocieerd met een gezond lichaam. Dertig procent van de vrouwen tussen 15 en 35 jaar maken gebruik van de zonnebank. Vooral sinds de jaren '90 kan men van een rage hieromtrent spreken. De Wereldgezondheidsorganisatie benadrukt dat het gebruik van deze artificiële bruiningstoestellen voor de algemene bevolking geen gezondheidsvoordeel oplevert en is dus tegen het gebruik ervan voor niet-medische doeleinden.

Van de drie soorten UV-straling, is UV-C het meest schadelijk, maar wordt gelukkig volledig door de ozonlaag geabsorbeerd. Daarna is UV-B het meest schadelijk voor de gezondheid, maar ook UV-A is niet onschuldig. UV-A straling is wel veel zwakker dan UV-B: om eenzelfde graad van roodheid van de huid op te wekken is duizendmaal meer UV-A nodig. Tegelijkertijd stelt een dag zonlicht ons wel duizend maal meer bloot aan UV-A dan UV-B, want dit laatste wordt voor 90 % door de dampkring tegengehouden. Vandaar o.a. het belang dat een zonnecrème zowel bescherming biedt tegen UV-A als tegen UV-B straling.

UV-A dringt dieper in de onderliggende huidlagen door dan UV-B, waardoor bindweefsel (collageen en elastine) en bloedvaten aangetast kunnen worden. Collageen is zeer trekvast en bezorgt de huid haar stevigheid, terwijl de elastinevezels de huid haar soepelheid en elasticiteit verlenen. UV-A speelt dus onder meer een rol bij de vroegtijdige veroudering van de huid. Nieuwe onderzoeksgegevens wijzen ook op het feit dat zelfs UV-A de ontwikkeling van huidkanker kan bespoedigen en uit recente gegevens blijkt verder dat UV-A straling een nefaste invloed op de immuniteit kan hebben. Het is algemeen bekend dat overmatige blootstelling aan zon koortsblaasjes kan veroorzaken. Dit wordt in verband gebracht met een verzwakking van het immuniteitssysteem onder invloed van UV (voorheen enkel toegeschreven aan UV-B) waardoor het herpes simplex virus zich dus zienderogen manifesteert. UV-A dringt door tot de ooglenzen en bij volwassenen dringt ervan 1 % door tot het netvlies, terwijl UV-B volledig door het hoornvlies geabsorbeerd wordt. Overmatige blootstelling kan fotokeratitis, fotoconjunctivitis en cataract veroorzaken. Keratitis is een

ontsteking van de cornea of hoornvlies. Conjunctivitis is een ontsteking van het bindvlies dat de oogbol en de binnenzijde van de oogkas bedekt. Beide ontstekingsprocessen zijn zeer pijnlijk, maar reversibel. Extreme vormen van keratitis kunnen wel complicaties en chronische irritaties met zich meebrengen. Keratitis die veroorzaakt wordt door UV-weerkaatsing op sneeuw, is beter bekend als sneeuwblindheid. In tegenstelling tot gras of grond, die minder dan 10 % van de invallende UV-straling weerkaatsen, reflecteert verse sneeuw tot 80 % van het invallende UV. Bovendien stijgt het UV-niveau 10 % bij elke hoogtetoename van 1 000 m.

Cataract of een vertroebeling van de ooglens behoort tot de voornaamste oorzaken van blindheid op wereldschaal. De prevalentie van cataract of grauwe staar verhoogt bij een toegenomen blootstelling aan UV-B straling. De WGO schat dat 20 % van de gevallen van cataract door een overmatige UV-blootstelling veroorzaakt worden.

Ook aan zee moet men uitkijken voor extra UV-blootstelling, aangezien de schuim op het water om en bij 25 % van de UV-straling weerkaatst die dus bij de blootstelling dient toegevoegd te worden.

Zowel in het gebergte als aan zee is men in hogere maten aan UV-straling blootgesteld en moeten dus zeker beschermingsmiddelen zoals zonnecrème, zonnebril, hoed, kledij aangewend worden.

UV-B, hoewel biologisch erg actief, dringt slechts tot de oppervlaktelagen van de huid door. UV-A zorgt voor een onmiddellijke bruining van zeer korte duur door het feit dat deze straling het pigment melanine dat reeds aanwezig is in de opperste cellagen onmiddellijk activeert. Het bruiningseffect van UV-B straling daarentegen wordt pas na twee à drie dagen zichtbaar, aangezien het de productie van nieuwe melanine stimuleert. UV-B zorgt tevens voor een verdikking van de epidermis of opperhuid. De bruinkleuring en verdikking van de huid zijn beschermingsmechanismen tegen de UV-straling. Een bruine getinte blanke huid levert een beschermingsfactor tegen zonnebrand tussen 2 à 4 op. Het is hoe dan ook geen bescherming tegen huidkanker. UV-B is de belangrijkste veroorzaker van zonnebrand en huidkanker. Wanneer de opperhuidcellen beschadigd raken, komen er stoffen vrij die de bloedvaten in de dermis of lederhuid doen verwijden wat aanleiding geeft tot erytheem of roodheid van de huid. Bij hoge doses UV zullen de huidcellen gedood of ten minste zeer ernstig beschadigd worden. Zonnebrand als dusdanig treedt snel op na de overmatige UV-blootstelling en bereikt een maximum intensiteit tussen 8 en 24 uren na de blootstelling.

Er kunnen acute of chronische gevolgen optreden. Die beperken zich echter steeds tot de huid of de ogen aangezien de stralen volledig door de huid worden geabsorbeerd. *Acute gevolgen* op niveau van de huid zijn huidverdikking, pigmentatie, vitamine-D-vorming en overgevoelighedsreacties. Pigmentatie en huidverdikking zijn eigenlijk verdedigingsmechanismen die door het lichaam worden genomen om zich te beschermen tegen de nefaste invloeden van UV-straling. Vitamine-D-vorming is overigens onontbeerlijk voor de normale ontwikkeling van het individu, maar dit rechtvaardigt geenszins het zonnebaden aangezien twee- tot driemaal per week een kwartuurtje handen, gezicht en nek aan het buitenlicht blootstellen voldoende is om de nodige hoeveelheid vitamine D te synthetiseren in het lichaam. Is de 'stralingsdosis' echter te groot dan treedt huidverbranding op, wellicht het bekendste acute gevolg van UV-straling. Van de drie soorten UV-stralen worden UV-A stralen (315-400 nm) als de minst gevaarlijke beschouwd. Recent wetenschappelijk onderzoek maant hier toch aan tot enige voorzichtigheid. UV-A stralen zijn wel degelijk gevaarlijk voor de gezondheid, dit in tegenstelling tot wat een paar jaar geleden beweerd werd. Bovendien kunnen zij bij jarenlange blootstelling fotochemische staar (cataract) veroorzaken en samen met bepaalde chemische stoffen tot fotoallergie en fototoxiciteit leiden. Op niveau van de ogen kunnen UV-B (280-315 nm) en UV-C (100-280 nm) reeds bij vrij korte blootstelling voor oogbindvlies- en hoornvliesontsteking verantwoordelijk zijn (bv. 'sneeuwblindheid', 'lasogen'). *Chronische gevolgen* van UV-B en UV-C zijn huidveroudering, huidkanker en staarvorming (cataract). Hier moet bijzondere aandacht gevestigd worden op het gebruik van allerlei types van zonnelampen en -hemels waarvan de meeste schadelijke UV-B en UV-C stralen produceren. UV-C stralen zijn het schadelijkst.

Aangezien de ozonlaag een zeer effectieve filter is voor UV-straling, heeft de afbraak van deze beschermende laag onmiskenbaar een effect op onze gezondheid. Mens en omgeving worden aan hogere UV-waarden blootgesteld en zeker het aandeel van de UV-B straling zal toenemen bij verdere afname van de dikte van de ozonlaag. Deze laag wordt afgebroken door kunstmatig vervaardigde chemicaliën als chlorides en bromides. Het is dan ook van het grootste belang dat het Montreal Protocol, dat voorziet in een geleidelijke vervanging van deze ozonvernietigende substanties, minutieus uitgevoerd en opgevolgd wordt. (zie Achtergronddocument Aantasting ozonlaag)

Andere werkingsmechanismen zijn de initiatie van 'fotobiologische' of 'fotochemische' effecten en de vorming van ozon door bestraling van O₂ met korte-golf UV-stralen (zie Achtergronddocument 'Fotochemische luchtverontreiniging').

4.3.2 | Lasers

De oppervlakken, bereikt door een laserstraal, staan bloot aan een sterk geconcentreerde energie met een thermisch effect voor gevolg. Dit effect is groter wanneer het medium (bv. biologisch weefsel) minder doorlatend is voor de straling en wanneer dit medium heterogeen is. Naast een grotere energieconcentratie op kleine weefselstukken, is de thermische verdeling onregelmatig met verdamping van water en celschade tot gevolg.

Thermische effecten kunnen optreden op de huid en de ogen. Het hoornvlies kan straling met een golflengte van 200-315 nm (UV-lasers) absorberen, wat bindvliesontsteking kan veroorzaken. De ooglenzen en in beperkte mate het netvlies absorberen de straling van 315-400 nm UV-lasers. Bij langdurige blootstelling zal lensvertroebeling optreden. Door zichtbaar licht met golflengten (400-780 nm) op het netvlies te concentreren kan een beperkte verbranding van het netvlies optreden. Maar zelfs zonder dat er verbranding optreedt, kan laserstraling gevaarlijk zijn voor het menselijk oog, aangezien de vermogensdichtheid van een laser met uitgangsvermogen van 1 mW groter is dan de vermogensdichtheid door de zonnestralen op het netvlies gegenereerd wanneer deze in het zenit staat. Dit kan tot een blijvend letsel leiden. Het verre infrarood kan een verwarming van het netvlies veroorzaken wat ook het hoornvlies van het oog aantast. Het gedeelte van de laserstraal dat het oog kan binnendringen hangt in belangrijke mate af van de opening van de pupil (gemiddeld 2 mm bij daglicht tot 8 mm bij duisternis). Gebruik van laserapparatuur in een heldere omgeving vermindert dat risico. Gepulseerde lasers bij gelijk vermogen zijn veel gevaarlijker dan lasers met continue golven. De samentrekking van de pupil door een plotse lichtflits is veel te traag om een afdoende bescherming te bieden.

Behalve thermische effecten kan laserapparatuur nog andere effecten meebrengen. Sommige types van laserapparaten gebruiken hoogspanning met de klassieke risico's van elektrische installaties. Andere laserapparaten benutten vloeibare stikstof met risico van blootstelling aan extreem lage temperaturen en van brandwonden door de intense koude. Naast halfgeleiderlasers is de gaslaser één van de belangrijke types van lasers. Helium-, CO₂-, stikstoflasers kunnen het zuurstofgehalte in de lucht aanzienlijk verminderen tot kritische waarden zonder dat men dit opmerkt. UV-lasers kunnen ozon of andere giftige gassen vrijzetten, bv. bij het snijden van plexiglas met laserstralen. Aangezien laserstralen zeer energierijk zijn, is het gebruik van lasers doorgaans af te raden in een explosief milieu (waar spuitbussen of ontvlambare producten opgeslagen worden). Een laserstraal doorheen een vaste stof kan hypersonisch zijn, waardoor glas, kristal en andere materialen kunnen breken en snijwonden veroorzaken.

Laserveiligheid

De actuele normen inzake laserveiligheid (in het werkmilieu) zijn gebaseerd op proefnemingen van het Amerikaans leger en hebben geleid tot de Navo-veiligheidsnorm STANAG 3606 LAS, waaruit dan de Belgische normen ontstaan zijn, gebaseerd op ondermeer de Amerikaanse standaard ANSI (American National Standards Institute) Z136.1/Z136.3 en de Europese EN 60825-1-norm. De toepassing van de principes van laserveiligheid is wettelijk vastgelegd in het Koninklijk Besluit van 12 juli 1985 en wordt beschreven in Art 103 (§7) van het ARAB. Op grond van bovenstaande normen, worden

lasers ingedeeld in verschillende veiligheidsklassen in functie van de mogelijke letsels en schade die ze kunnen veroorzaken. In januari 2001 werd de Europese norm 60825 echter herzien, wat resulteerde in een deels nieuwe indeling. De herziene klassificatie is opgenomen in de Europese EN 60825-1-norm die identiek is aan de internationale (International Electrotechnical Commission) IEC 60825-1-norm.

In de praktijk stellen we vast dat heel wat lasers nog volgens de oude laserveiligheidsklassen zijn ingedeeld (te merken aan de verplichte etikettering op de toestellen zelf). Vandaar dat we het opportuun achten om zowel de oude als de nieuwe indeling hier te vermelden.

Indeling van de lasers in functie van het gevaar volgens de vorige standaard EN 60825-1

Lasers worden ingedeeld in 5 klassen in functie van de stijgende graad van gevaar. Deze indeling gebeurt in functie van de golflengte en het uitgestraalde vermogen. Straling in het verre ultraviolet (UV), gekenmerkt door golflengten die kleiner zijn dan 315 nanometer (nm), evenals straling in het verre infrarood (IR), gekenmerkt door golflengten groter dan 1400 nm, worden beide geabsorbeerd door het hoornvlies (cornea), waar er dus op die manier weefselschade kan veroorzakt worden. Nabije UV-straling (315-380 nm) wordt echter geabsorbeerd ter hoogte van ooglenzen, wat een vertroebeling ervan kan teweegbrengen. Lasers die stralen in het domein van het zichtbaar licht (380-780 nm) en het nabije IR (780-1400 nm), zijn veruit het gevaarlijkst, vermits hun straling door de ooglenzen gefocuseerd wordt op het netvlies (retina) in een enkel punt. Daarbij komt nog dat het menselijk oog geen enkele afweerreactie (oogleden gaan niet naar beneden) vertoont voor de nabije IR straling, omdat deze juist gekenmerkt wordt door het feit dat ze niet waarneembaar is voor ons oog. De neodmium-yag laser en de neodmium-glas laser zijn toestellen die tot deze klasse behoren. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de lasers van de klassen 3b en 4 wettelijk voorzien moeten zijn van een afneembare sleutel (om de laser te activeren). Ongeacht de klasse waartoe een laser behoort, dient de klasse erop vermeld te worden met behulp van een zelfklevende etiket. De klasse 2 bevat enkel lasers die in het zichtbaar deel van het elektromagnetisch spectrum stralen. Enkel de klasse 1 lasers zijn ongevaarlijk voor het menselijk oog. Terloops kan opgemerkt worden dat de vermogensdichtheid van een laser met uitgangsvermogen van 1 mW groter is dan de vermogensdichtheid van de stralen van de zon wanneer deze in het zenith staat. Dit voorbeeld illustreert duidelijk hoe gevaarlijk een laser met een vermogen van 'slechts' 1 mW kan zijn. Tabel 25 geeft een overzicht.

Tabel 25: Laserveiligheidsklassen volgens de vorige standaard EN 60825-1

Laserklasse	Gevaar
Klasse 1: Laagste vermogen	Geen gevaar
Klasse 2: Laag vermogen (maximaal 1 mW)	Oogbeschadiging wanneer men in de bundel staart; enkel geldig voor lasers die zichtbaar licht uitstralen; de ooglidreflex beschermt hier immers het oog.
Klasse 3: Middelmatig vermogen	
a	Oogbeschadiging wanneer de bundel in het oog gefocuseerd wordt (optische vergrotingsinstrumenten).
b	Oogbeschadiging wanneer men kijkt naar de directe of indirecte (weerskaatste) laserbundel; de ooglidreflex is hier niet meer afdoende. Toegelaten maximaal uitgezonden vermogen: 500 mW. Beperkt gevaar voor de huid.
Klasse 4: Hoogste vermogen	Oogbeschadiging wanneer men kijkt naar de directe, weerskaatste of diffuus gereflecteerde laserbundel. Deze groep kan zelfs ontvlambare producten doen ontvlammen en kan aanzienlijke huidbeschadiging teweegbrengen.

Bron: EN 60825-1

De nieuwe laserveiligheidsklassen volgens EN/IEC 60825-1

Drie nieuwe laserveiligheidsklassen werden ingevoerd en de vroegere klasse 3A werd afgeschaft, die grotendeels door de nieuwe klassen 1M en 2M vervangen wordt. De nieuwe standaard geldt zowel voor lasers als voor LEDs (Light Emitting Diode). Tabel 26 geeft een overzicht van deze standaard.

Tabel 26: Nieuwe laserveiligheidsklassen volgens EN/IEC 60825-1

Laserklasse	Gevaar
Klasse 1	Ongewijzigd. Levert geen enkel gevaar op.
Klasse 1M	Nieuw toegevoegde klasse. Dergelijke lasers produceren een uittredende bundel met een grote diameter; divergente bundel. Leveren geen enkel gevaar op voor het onbeschermd oog, tenzij de bundelbreedte gewijzigd wordt door het gebruik van optische instrumenten. In dit laatste geval dient het geheel ingedeeld te worden bij een hogere klasse.
Klasse 2	Deze lasers zenden enkel voor de mens zichtbaar licht uit; er wordt vanuit gegaan dat de natuurlijke menselijke reflex (ooglidreflex of wegstaren) voldoende is om schadelijke blootstelling te vermijden. Opzettelijk in de bundel staren (langer dan 2.5 ms) kan gevaarlijk zijn. Ongevaarlijk voor de huid.
Klasse 2M	Zenden enkel in het zichtbare deel van het spectrum uit en de uittredende bundel heeft een grote diameter; divergente lichtbundel. De menselijke ooglidreflex volstaat hier om schadelijke blootstelling te voorkomen, tenzij optische instrumenten gebruikt worden die de bundel focussen. Ongevaarlijk voor de huid.
Klasse 3R	Laag risico lasers, maar potentieel gevaarlijk. Uittredende bundel heeft een vermogen dat de maximaal toelaatbare blootstelling overschrijdt bij blootstelling van een kwartseconde en 100 seconden bij respectievelijk een laser die zichtbaar licht uitstraalt en een laser die in het niet-zichtbare deel van het spectrum uitstraalt. Het totaal uittredende vermogen van de bundel mag het toegelaten niveau van de klasse 2 (zichtbaar licht) of de klasse 1 (in het geval van onzichtbaar licht) niet met een factor 5 overschrijden. Ongevaarlijk voor de huid; gevaarlijk voor de ogen.
Klasse 3B	Ongewijzigd; gevaarlijk. Diffuse reflectie is ongevaarlijk. Door de gewijzigde klasse-indeling kunnen sommige voorheen geklasseerde 3B-lasers nu ondergebracht zijn in de klassen 1M, 2M of 3R.
Klasse 4	Ongewijzigd; gevaarlijk, ook de diffuse reflectie. Zeer gevaarlijke lasers zonder bovengrens. Kunnen brand en explosie veroorzaken.

Bron: EN/IEC60825-1

Algemene laserveiligheidsmaatregelen

- Laserbrillen (laser safety glasses) beschermen de ogen tegen schadelijke laserstraling, omdat ze net zó geconcepieerd zijn dat de waarde van hun transmittantie juist 'nul' bedraagt voor die golflengte waarvoor ze bescherming moeten bieden. Het is dus belangrijk hier te benadrukken dat er geen universele laserveiligheidsbrillen bestaan (de golflengte staat gewoonlijk vermeld op het montuur van de bril). Verifieer daarom steeds voor welke golflengte de laserveiligheidsbril in kwestie bescherming biedt. Niets is immers zo gevaarlijk als in de waan te verkeren dat men beschermd is en verder geen voorzorgsmaatregelen meer neemt. Laserveiligheidsbrillen kunnen momenteel ook vervaardigd worden door middel van holografische technieken.
- Aangezien de energiedichtheid van de uitgezonden laserstraling afneemt met het kwadraat van de afstand, verhoogt het vergroten van de afstand tot de laserbron meteen ook de veiligheid.
- Aan de ingang van lokalen waar er een laser opgesteld staat, dienen waarschuwingsborden aangebracht te worden. Verder moet vermeden worden om de laser op te stellen op ooghoogte.
- Tijdens het gebruik van de laser moet vermeden worden om reflecterende voorwerpen (metaal, glas ...) in de laserbundel te houden.

- Aangezien de meeste laserstralen doorheen vensterglas gaan, is het aangeraden hierop ondoorschijnende bekleding aan te brengen wanneer de laser in werking is.
- De afneembare sleutel (lasers van de klasse 3b en klasse 4) worden best op een afsluitbare plaats afzonderlijk opgeborgen.
- Aangezien een donkere omgeving de pupilopening van het menselijk oog vergroot en dus ook het risico op oogschade, dient er steeds in voldoende verlichte lokalen met lasers gewerkt te worden.
- Een regelmatig oogheelkundig onderzoek wordt sterk aangeraden.

Referenties

Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Olsen J.H., Tynes T. & Verkasalo P.K. (2000) A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia., *Br. J. Cancer*, **83**, 692-698.

Belgisch Staatsblad (2001) Koninklijk besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu, 22 mei 2001, 16987-16990.

Blaasaas, K.G., Tynes, T., Irgens A. & Lie R.T. (2002) Risk of defects by parental occupational exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a population based study. *Occup. Environ Med*, **59**, 92-97.

Blank M. & Goodman R. (1997) Do electromagnetic fields interact directly with DNA? *Bioelectromagnetics*, **18**, 111-115.

Bortikiewicz A., Zmyslong M., Palczynski C., Gadzicka, E. & Szmigielski, S., (1995) Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers at AM broadcasting stations (0,738-1,503 MHz)., *Electro Magneto Biology*, **14(3)**, 177-191.

Bracken M.B., Belanger K., Hellenbrand K., Dlugosz L., Holford T.R., McSharry J.E., Addesso K. & Leaderer B. (1995) Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: Association with birthweight and intra-uterine growth retardation., *Epidemiology*, **6**, 263-270.

Braune S., Wrocklage C., Raczek J., Gailus T. & Lucking C.H. (1998) Resting blood pressure increase during exposure to a radiofrequency electromagnetic field., *Lancet*, **352**, 576.

CBS (2003), Centraal Bureau voor de Statistiek Nederland, [http:// www.cbst.nl](http://www.cbst.nl)

CENELEC (1995a) Human Exposure to Electromagnetic fields: low frequency (0 to 10 kHz), European pre-standard ENV 5166-1.

CENELEC (1995b) Human Exposure to Electromagnetic fields: high frequency (10 kHz to 300 GHz), European pre-standard ENV 5166-2.

CIRC/IARC (2001), Centre Internationale de Recherche sur le cancer. Le CIRC met en evidence des indications limitées selon lesquelles les champs magnetiques domestique accroissent le risque de leucémie chez l'enfant. Communiqués de press du CIRC, Lyon (France), 27 juin 2001.

Cook H.F. (1951) Dielectric behavior of some types of human tissues at microwave frequencies, *Brit. J. Appl. Phys.*, **2**, 295-300.

Cook H.F. (1952) A comparison of dielectric behavior of pure water and human blood at microwave frequencies, *Brit. J. Appl. Phys.*, **3**, 249-255.

Council of the European Union, (2002) Amended proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields and waves). Brussel, 9 December 2002.

CSTEE (2001) Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health, C2/JCD/csteeop/EMF/RFF30102001/D(01), Brussel (http://europe.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out128_en.pdf).

Davidson J.A. (1998) Brain tumours and mobile phones?, *Med. J. Australia*, **168**, **48**.

De Ridder M. & Vanhoorne M. (2001) Gezondheidseffecten van 50 Hertz-elektrische en magnetische velden rond elektriciteitsgeleiders. *Tijdschrift voor Geneeskunde*, **57**, nr. 4, 247-254.

De Ridder M. & Vanhoorne M. (2001) Gezondheidseffecten van GSM-straling. *Tijdschrift voor Geneeskunde*, **57**, nr. 4, 255-262.

Decat G. (2001) Relative exposure index for the relation between the personal and the stationary home magnetic field exposure close to and far away from power lines. EBEA-proceedings, 5th Int. Congress of the European Bioelectromagnetic Association, 6-8 September 2001, Helsinki, Finland, 2001, pp. 136-139, September 2001.

Decat G., (2001) Berekening van veilige blootstellingsafstanden t.o.v. GSM-antennes op site van Vito/SCK. Intern verslag, 2001.

Decat G., Crasson M., Peeters E. & Van Loock W., (2003) Optimal sampling time for the exposure assessment of the magnetic field for epidemiological purposes. EBEA 2003? Proceedings Budapest (in press)

Decat G. & Kerckhofs R. (1995) Evaluatie van elektrische en magnetische velden afkomstig van Belgische hoogspanningslijnen bij normale exploitatie. *Energie & Milieu* 3 mei/juni, 118-122.

Decat G., Peeters E., Smolders R. & Bossuyt M. (2003) Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen in kaart te brengen. Vito-rapport, 2003/IMS/R/117, p. 1-59.

Decat G., Peeters E., Smolders R. & Bossuyt M. (2003) Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in Vlaanderen in kaart te brengen (2003/IMS/R/117)

Decat G. & Van Aarle J. (1997) Kwantificering van de statisch magnetische strooivelden van een 9,5 Tesla Nucleaire Magnetische Resonantiespectrometer gebruikt in de farmaceutische onderzoeksindustrie. *Arbeidsgezondheidszorg & Ergonomie*, **34(21)**, 111 – 114.

Decat G. & Van Tichelen P. (1995) Electric and Magnetic Fields of Domestic Microwave Ovens Quantified under Different Conditions., *Int. Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy. International Microwave Power Institute*, **30 (2)**, 102-108.

Decat G. & Van Tichelen P. (1995) Magnetic Field Monitoring of a Microwave Oven Operating With and Without Metal Housing: A New Approach., *Microwave World*, **16, (2)**, 15-19.

Decat G. & Van Tongerloo J. (1998) Magnetic Fields monitored in Houses under 50 Hz High-Voltage Overhead Transmission Lines of 70, 150, 220 and 380 kV. AIR Pollution VI, Edited by C.A. Brebbia, C.F. Ratto & H. Power. WITpress Boston, Southampton, *Computational Mechanics Publications*. 238 – 246.

Decat G. & Van Tongerloo J. (1998) Monitoring of the Magnetic Fields in Houses under High-Voltage Overhead Transmission Lines of 150, 220 and 380 kV., *International Journal of Environment and Pollution. Scienc. Engineering. Ecological Economics. Policy*. **9 (4)**, 341 – 351.

Decat G. & Van Tongerloo J. (1998) Monitoring van het magnetisch veld in woningen onder de Belgische hoogspanningslijnen met bedrijfsspanning van 70, 150, 220 & 380 kV., *Tijdschrift Energie & Milieu*, 2 maart/april, 93-98.

Decat G. (2002) Representativeness of 24 h and 48 h measurements of the magnetic field exposure for epidemiological purposes and the ratio between the dynamic and static exposure for people living below high voltage transmission lines. Piers 2002 Proceedings, Progress in Electromagnetic Research Symposium, July 1-5, 2002, Cambridge, Massachusetts, USA, Published by the Electromagnetic Academy, Cambridge USA, p. 691.

Djordjevic Z., Kolak A., Stogkovic M., Rankovic N. & Ristic P. (1979) A study of the health status of radar workers., *Aerospace Med*, **50**, 316-398.

Dreyer N.A., Loughlin J.E. & Rothman K.J. (1999) Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA*, **282**, 1814.

Eicher B., Siegenthaler J., Urech M. & Kuster N. (1992) Effects of microwave and RF exposure on lichens, Abs. XIVth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, 4.

Elia (2002) Activiteitenverslag – Jaarverslag 2002

Elwood J.M (1999) A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers., *Env Health Perspect*, **107**, 155-168.

Feychting M., Pedersen N., Svedberg P., Floderus B. & Gatz M. (1998) Dementia and occupational exposure tot magnetic fields, *Scan J Work Environ Health*, **24**, 46-53.

Florig H.K. (1992) Containing the costs of the EMF problem., *Science*, **257**, 468-492.

Gecoli (1992), 'Het transport van elektrische energie op H.S. en Z.H.S., Intern Rapport B.9005b.

Gezondheidsraad (2000) GSM-basisstations, Gezondheidsraad 2000/16, Den Haag.

- Gezondheidsraad Commissie ELF Elektromagnetische Velden (2000). Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz-10 MHz), Gezondheidsraad 2000/6, Den Haag.
- Gezondheidsraad Nederland (1992) Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid, rapport 359/91/EvR/RA/359-Y.
- Gezondheidsraad Nederland: Commissie Radiofrequente straling (1997) Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz).
- Goldini J. (1990) Hematological changes in peripheral blood of workers occupationally exposed to microwave radiation. *Health Phys*, **58**, 205-207.
- Greenland S., Sheppard A.R., Kaune W.T., Poole C., & Kelsh M.A. (2000) A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia., *Epidemiology*, **11**, 624-634.
- Habash R.W.Y. (2003) Foreseeable Health Risk of Electric and Magnetic Field Residential Exposures. *Energy & Environment*, Vol. 14, No.4, 473 – 487.
- Hamburger S., Logue J.N. & Silverman P.M. (1983) Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: an exploratory study., *J Chron Dis*, **36**,791-802.
- Hardell L., Nasman A., Pahlson A., Hallquist R. & Hansson-Mild K. (1999) Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study., *Int J Oncol*, **15**, 113-116.
- Hayes D.L., Wang P.J., Reynolds D.W., Estes N.A.M., Griffith J.L., Steffens R.A., Carlo G.L., Findlay G.K. & Johnson C.M. (1997) Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones., *N Engl. J Med*, **336** (21), 1473-1479.
- Hermann D.M. & Hossman K.A. (1997) Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication., *J Neurol Sciences*, **152**, 1-14.
- Hoge Gezondheidsraad België, Brochure 'de GSM, veilig mobiel telefoneren ?', herziene versie 2000.
- IEC-standard (1988), Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for microwave ovens. IEC-publication 335-2-25 (2nd ed). Commision Electrotechnique International Genève, 4-357.ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics*, **4**, 494-594.
- Independent Expert Group on Mobile Phones (2000) Mobile phones and health, NRPB, Chilton.
- International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNRP) of IRPA (1996) Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters, *Health Physics*, **70**, 587-593.
- International Radiation Protection Association (IRPA) (1984) Interim guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz, *Health Physics*, **46**, 975-984.
- International Radiation Protection Association (IRPA) (1985), Guidelines on limits of exposure to Ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), *Health Phys.*, **49**, 331-340.
- International Radiation Protection Association (IRPA) (1990) Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields, *Health Physics*, **58**, 113-122.
- Joseph W. & Martens L. (2003), "Safety Factor for the Determination of Occupational Exposure by SAR in Phantom Model," *IEE Electronics Letters*, vol 39, no. 23, pp. 1663 – 1664.
- Joseph W. & Martens L. (2005), General Correction factor to be applied to the SAR for occupational electromagnetic exposure in phantom models, *Bioelectromagnetics 2005*, Dublin, Ireland, pp. 358 - 360.
- Kavet R. (1999) Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers., *Am J Epidemiol*, **149**, 135-142.
- Kelfkens G., Pennders R.M.J. & Pruppers M.J.M. (2003), Plannen voor nieuwbouwwoningen bij bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 610150004/2003.
- Kheifets L.I., Afifi A.A., Buffler P.A. & Zhang Z.W. (1995) Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer. A meta-analysis., *J Occup Environ Med*, **37**,1237-1241.
- Kheifets L.I., Afifi A.A., Buffler P.A., Zhang Z.W. & Matkin C.C. (1997) Occupational and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis., *J Occup Environ Med*, **39**,1074-1091.
- Koivisto M., Revonsuo A., Krause C., Haarala C., Sillanmäki L., Laine M., & Hämäläinen H. (2000) Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans, *Neuro-Report 2000*, **11**, 413 - 415.

- Kuster N., Bolzano Q. & Lin J.C. (1997) *Mobile Communications Safety*, Chapman & Hall, London.
- Lai H. & Singh N.P. (1995) Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells, *Bioelectromagnetics*, **16**, 207-210.
- Lai H. & Singh N.P. (1996) Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to low-level radiofrequency radiation, *Int. J. Radiat. Biol.*, **69**, 513-521.
- Maes A., Collier M., Slaets D. & Verschaeve L. (1995) Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz). *Electro-Magnetobiol.*, **14**, 91-98.
- Maes A., Collier M., Slaets D. & Verschaeve L. (1996) 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C., *Environ. Molec. Mutagen*, **28**, 26-30.
- Maes A., Collier M., Van Gorp U., Vandoninck S. & Verschaeve L. (1997) Cytogenetic effects of 935.2 MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C., *Mutation Res.*, **393**, 151-156.
- Maes A., Collier M., Vandoninck S. & Verschaeve L. (2000) Cytogenetic effects of 50 Hz magnetic fields of different magnetic flux densities., *Bioelectromagnetics*, **21**, 589-596.
- Maes A., Collier M. & Verschaeve L. (2000) Cytogenetic investigations on microwaves emitted by a 455.7 MHz car phone., *Folia Biol.*, **46**, 175-180.
- Maes A., Collier M. & Verschaeve L. (2001) Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes., *Bioelectromagnetics*, **22**, 91-96.
- Maes A. & Verschaeve L. (1997) Biologische effecten van elektromagnetische velden: extreem lage- en radiofrequenties. *Arbeidsgezondheidszorg & Ergonomie*, **XXXIV**, 129-130.
- Maes A. & Verschaeve L. (2003) Lipoatrophia semicircularis: an electromagnetic hypothesis. *Electromagnetic Biol. Med.*, **22**, 183-193.
- Martens L. (1994) Determine the EM fields induced by wireless telephone, *Microwaves & RF*, **12**, 161-166
- MC Cann J., Kavet R. & Rafferty C.N. (2000) Assessing the potential carcinogenic activity of magnetic fields using animal models., *Environ Health Perspect*, **108**(1), 79-100.
- McKinlay A.F., Andersen J., Bernhardt J.H., Grandolfo M., Hossmann C., van Leeuwen F.E., Mild K.H., Swerdlow A.J., Verschaeve L. & Veyret B. (1996) Possible health effects related to the use of radiotelephones. Proposal for a research programme by a European Commission of Experts, EEG, DGXIII, Brussels.
- Microwave Engineering (2001) Focus on Test and Measurement, October 2001, 15-25.
- Microwave News (1997) Swiss tests show wide variation in radiation exposure from cell phones, *Microwave News*, **17** (6), 1-11.
- Nationaal Instituut voor de Statistiek (NIS), (http://statbel.fgov.be/home_nl.htm).
- National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) (1999) Health effects from exposure of power-line frequency electric and magnetic fields, National Institutes of Health (NIH 99-4493), Research Triangle Park, NC National Institute of Environmental Health Sciences.
- National Research Council (1997) Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. National Academy Press, Washington DC.
- National Research Council (NRC) (1997) Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biological Systems. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields, National Academy Press, Washington DC.
- NRPB (1993) Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation, *NRPB Report*, **4** (5).
- Ofstedal G., Wclen J., Sandström M. & Mild K.H. (2000) Symptoms experiences in connection with mobile phone use., *Occup Med*, **50**, 237-245.
- Perry S. & Pearl L. (1988) Power frequency magnetic field and illness in multistorey blocks., *Public Health*, **102**, 11-18.
- Poole C., Kavet R., Funch D.P., Donelan K., Charry J.M. & Dreyer N. (1993) Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating current transmission line right of way, *Am J Epidemiol*, **137**, 318-330.
- Preece A. W., Iwi G., Davies-Smith A., Wesnes K., Butler S., Lim E. & Valey A. (1999) Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in men., *Int J Radiat Biol*, **75**, 447.

Raad van de Europese Unie (1999) Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz – 300 GHz, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, 1999/519/EG, 59-70.

REFLEX (2004) final report funded by the European Union - Risk Evaluation of potential environmental hazards from low frequency electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods.

Repacholi M.H. (1997) Radiofrequency field exposure and cancer: what do the laboratory studies suggest?, *Env Health Perspect*, **105** (6), 1565-1568.

Repacholi M.H. (1998) Low level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs., *Bioelectromagnetics*, **19**, 1-19.

Repacholi M.H., Basten A., Gebiski V., Noonan D., Finnie J., Harris A.W. (1997) Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields, *Radiation Res.*, **147**, 631-640.

Repacholi M.H., Greenebaum B. (1999) Interaction of static and ELF electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs., *Bioelectromagnetics*, **20**, 133-160.

Robinette C.D., Silverman C., Jablon C. (1980) Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation., *Am J Epidemiol*, **112**, 39-53.

Rothman K.J., Loughlin J.E., Finch D.P., Dreyer N.A. (1996) Overall mortality of cellular telephone customers., *Epidemiology*, **7**, 303-305.

Savits D., Checkoway H., Loomis D. (1998a) Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers., *Epidemiology*, **9**, 398-404.

Savitz D., Loomis D., Chiu-Kit T. (1998b) Electrical occupations and neurodegenerative disease: Analysis of U.S. mortality data., *Arch Environ Health*, **53**, 1-8.

Savitz D.A. (1991) Power lines and cancer risk., *JAMA*, **265**, 1458.

Schwan H.P. (1957) Electrical properties of tissues and cell suspensions, *Adv. Biol. Med. Phys.*, **4**, 147-209.

Schwan H.P., Piersol G.M. (1955) The absorption of electromagnetic energy in body tissues, *Am. J. Phys. Med.*, **33**, 371-404.

Smigielski S., Bortkiewicz A., Galzicka E., Zmyslong M., Kubacki R. (1998) Alternation of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields., *Blood Press Monit*, **3**(6), 323-330.

Sobel E., Davanipour Z., Sulkava R., Erkinjuntti T., Wikström J., Henderson V.W., Buckwalter G., Bowman J.D., Lee P.-J. (1995) Occupations with exposure to electromagnetic fields: A possible risk factor for Alzheimer's disease., *Am J Epidemiol*, **142**, 515-524.

Sobel E., Davanipour Z. (1996) Electromagnetic field exposure may cause increased production of amyloid beta and may eventually lead to Alzheimer's disease., *Neurology*, **47**, 1594-1600.

Strumza M.V. (1970) Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs d'électricité à haute tension. *Arch Mal Prof*, **31**, 269-276.

The Royal Society of Canada (1999) A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices., RSC (RSC.EPR 99-1), Ottawa.

Thury J. (1992) Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical applications, Artech House, Norwood.

Tri J., Severson R., Firl A., Hayes D. & Abenstein J. (2005) Cellular telephone interference with medical equipment, *Mayo Clin. Proc.*, **80** (10), 1286-1290.

van der Plas M., Houthuis DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ, Pruppers M.J.M. (2001a) Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. Bilthoven: RIVM, april 2001; 610050 007.

van der Plas M., Houthuis DJM, Dusseldorp A., Pennders RMJ, Pruppers M.J.M. (2001b) Exposure to the magnetic fields from overhead power lines and childhood leukemia in the Netherlands. EBIA 2001, 5th international Congress of the European BioElectromagnetic Association (EBEA) 6-8 September 2001, Helsinki, Finland: Proceedings.

Van Eycken E. (2002), Kankerincidentie in Vlaanderen. Vlaams Kankerregistratienetwerk (http://www.tegenkanker.net/KiVdoc1_v7.pdf). D/2002/9738/1. Vlaamse Liga tegen kanker. Koningsstraat 217, 1210 Brussel. Pdf's van tabellen met incidentiecijfers 1997-1999: (<http://www.tegenkanker.net/Media/Sterk.604/Tabel%205.1%20M-abs-99.pdf>).

Van Leeuwen G.M.J., Lagendijk J.J.W., Van Leersum B.J.A.M., Zwamborn A.P.M., Hornslieth S.N., Kotte A.N.T.J. (1999) Calculation of brain temperatures due to exposure to a mobile phone., *Phys Med Biol*, **44**, 2367.

Vecchia P. (2004) Electromagnetic fields: sources and exposure. Proceedings International NIR Workshop and symposium, Sevilla, 20-22 Mei, Spanje.

Verschaeve L. (1995) Can non ionising radiation induce cancer?, *Cancer J.*, **8**, 237-249.

Verschaeve L. (1997) Is mobiel bellen gevaarlijk?, *Prevent*, **3(7)**, 1-2.

Verschaeve L. (1998) Mobile telephones, genetic effects and cancer. In: Progress in Human Genetics, eds. J.R. Singh, K. Sperling, H. Neitzel, Guru Nanak Dev University, Amritsar, India, pp. 274-282.

Verschaeve L. (1998) Some considerations on the genotoxicity of radiofrequency radiation. In: Carlo G.L., ed., Wireless phones and health, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 99-103.

Verschaeve L. (1999) Hoogspanningslijnen, mobiele telefonie en gezondheid., *Lucht*, **2**, 52-54.

Verschaeve L. (2001) GSM en gezondheid. *Prevent Actua*, **2**, 6-7.

Verschaeve L., Decat G., Maes A. (2004) Inventarisatie van blootstellingsniveaus van niet-ioniserende elektromagnetische straling voor de bevolking in Vlaanderen, literatuurstudie in opdracht van AMINAL cel Milieu en gezondheid, DTG/OL200100709/3097/M&G, (http://www.mina.be/uploads/MG_inventarisatie_van_blootstellingsniveaus_van_nis_2004_290605.pdf).

Verschaeve L., Maes A. (1998) Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. *Mutation Research*, **410**, 141-165.

Verschaeve L., Maes A. (1999) Mobile phone cytogenetics. In: Kundi M., Mosgöller W., Schinner F., Hutter H.-P., eds., Proceedings of the International Workshop on Possible Biological and Health Effects of RF Electromagnetic Fields, Univ. Vienna, p. 221-229.

Vindevogel G. (2001). Standpunt t.a.v. het voorstel van resolutie van het Vlaams Parlement betreffende de inplanting van GSM-masten. Verslag, BVO/gv/2001/GSM-masten/518.

Warnke U. (1993) Electromagnetic bioinformation: the sensibility to non ionizing radiations of humans and animals, International Symposium on 'Harmful effects of non-ionizing radiation', Brussels, 5-6 juli, lecture summary.

Wertheimer N., Leeper E. (1979) Electric wiring configuration and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **109**, 273-284.

WHO (2005a) Electromagnetic fields and public health: Intermediate Frequencies (IF), international EMF Project information sheet, Februari 2005. (<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intmedfrequencies/en/index.html>).

WHO (2005b) Electromagnetic fields and public health: Effects of EMF on the Environment, Information sheet, Februari 2005. (<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/environimpact/en/index.html>)

WHO (2005c) Electromagnetic fields and public health: microwave ovens, Information sheet, February 2005. (http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/en/).

Zwamborn A.P.M., Vossen S. H.A., Van Leersum B.J.A.M., Ouwens M.A. & Makel W.N. (2003) TNO-report, Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. Fel-03-C148, Den Haag.

Lijst met relevante websites

Algemene informatie over niet-ioniserende elektromagnetische straling:

<http://www.vito.be/milieu/milieustudies7.htm> (algemene informatie)

<http://www.intec.rug.ac.be> (info wetenschappelijk onderzoek)

<http://www.bbemg.ulg.ac.be> (Belgian BioElectromagnetic Group)

<http://www.who.int/peh-emf/en/> (WHO-webstek over elektromagnetische straling)

Instellingen voor telecommunicatie:

<http://www.bipt.be> (België)

<http://www.anfr.fr> (Frankrijk)

<http://www.ofcom.org.uk> (Verenigd Koninkrijk)

<http://www.bundesnetzagentur.de> (Duitsland)

<http://emf.bundesnetzagentur.de> (Duitsland- databank EMF)

Databank met sites voor mobiele communicatie in België

<http://www.sites.bipt.be>

Auteurs voorgaande MIRA-rapporten

Deze personen werkten mee aan voorgaande MIRA-publicaties en onderschrijven niet noodzakelijk de informatie in dit achtergronddocument.

Dirk Adang, EMIC, UCL (MIRA-T 2005)

Myriam Bossuyt, MIRA, VMM (MIRA-T 2001, MIRA-T 2003, MIRA-T 2005)

Gilbert Decat, Integrale Milieustudies, Vito (MIRA-T 2003, MIRA-T 2001)

Carlos De Wagter, vakgroep Radiotherapie en Kerngeneeskunde, RUG (MIRA-1)

Maurits De Ridder, Vakgroep Maatschappelijke Gezondheidskunde, UGent (MIRA-T 2001)

Wout Joseph, Vakgroep INTEC, UGent (MIRA-T 2005)

Annemarie Maes, Milieutoxicologie, Vito (MIRA-1)

Luc Martens, Vakgroep INTEC, UGent (MIRA-T 2005, MIRA-T 2003, MIRA-S 2000, MIRA-T 1998, MIRA-1)

Christof Olivier, Vakgroep INTEC, UGent (MIRA-T 2003)

Luc Verschaeve, Milieutoxicologie, Vito (MIRA-T 2001, MIRA-T 1998, MIRA-1)

MIRA-referenties

MIRA-1: pp. 411 – 428;

MIRA-T 1998: pp. 323 – 334;

MIRA-S 2000: pp. 479 – 486;

MIRA-T 2001: pp 431 – 439;

MIRA-T 2003: pp. 357 – 365.

Begrippen

Blootstelling: mate waarin de mens of het ecosysteem in contact komt met verontreiniging of verontreinigende stoffen opneemt.

Elektrisch veld: elektrisch veld op een bepaald punt veroorzaakt een kracht op een lading die zich in dat punt bevindt. Deze kracht is evenredig met de grootte van het elektrisch veld en de grootte van de lading.

Elektrische contactstroom: totale elektrische stroom die door een lichaamsdeel vloeit bij contact met een elektrisch geleidend voorwerp. Eenheid: A

Elektrische stroomdichtheid: elektrische stroom die door een oppervlakte-eenheid vloeit en bijvoorbeeld geïnduceerd wordt in biologische weefsels bij een invallend elektromagnetisch veld. Eenheid: A/m²

Elektromagnetisch frequentiespectrum: rangschikking van elektromagnetische velden/straling die zowel het gebied van de ioniserende als het gebied van de niet-ioniserende straling.

Elektromagnetische golf: bestaat uit een elektrische (E) en een magnetische component (H) die beiden een grootte (sterkte) en een richting hebben.

Emissie: uitstoot of lozing van stoffen, golven of andere verschijnselen door bronnen, meestal uitgedrukt als een hoeveelheid per tijdseenheid.

Epidemiologie: wetenschap die de verdeling van ziekte en ziektedeterminanten binnen een populatie in tijd en ruimte bestudeert.

Frequentie: het aantal golfcycli die in één seconde een bepaald punt doorkruisen in de richting van hun voortplanting. De eenheid van frequentie is de Hertz (Hz) of één cyclus per seconde.

Incidentie: aantal nieuwe gevallen van een ziekte in verhouding tot een populatie binnen een bepaalde tijd, of de frequentie waarmee een bepaalde ziekte zich voordoet in een populatie gedurende een bepaalde tijd.

Magnetisch veld: Het magnetisch veld op een bepaald punt veroorzaakt een kracht op een lading in beweging (stroom) op dat punt. Deze kracht is evenredig met de grootte van het magnetisch veld, de grootte en snelheid van de bewegende lading.

Magnetische fluxdichtheid: grootte gerelateerd met het magnetisch veld volgens $B = \mu_0 H$, met $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ H/m zijnde de magnetische permeabiliteit van de vrije ruimte. Eenheid: T (Tesla).

Niet-ioniserende straling: straling waarvan de energie te zwak is ionisatie te veroorzaken. Dit zijn alle golven met een frequentie kleiner dan 3 PHz of een energie kleiner dan 12,4 eV.

Relatief risico (RR): incidentie van de ziekte in de blootgestelde groep gedeeld door de incidentie van de ziekte in de niet-blootgestelde groep.

rms-waarde: berekende gemiddelde of effectieve waarde van een periodiek wisselende functie. De rms-waarde wordt berekend door het kwadraat van de functie gedeeld door de periode te integreren over een periode en dit resultaat tot de macht 0,5 te verheffen (wortel trekken).

Specifiek absorptie tempo (SAT): hoeveelheid elektromagnetische energie die per seconde en per eenheid massa wordt geabsorbeerd en (doorgaans volledig) omgezet wordt in warmte.

Stralingsfluxdichtheid: hoeveelheid elektromagnetische energie die per tijdseenheid passeert door een oppervlakte-eenheid.

Veldbelasting: hoeveelheid elektrisch en/of magnetisch veld die in de omgevingslucht terechtkomt.

Werkingscapaciteit: verhouding tussen de gemiddelde stroom in een hoogspanningslijn en de maximale stroom die gedurende een periode (bv. een jaar) geregistreerd werd.

Afkortingen

AC: alternating current

BG: background

BN: Belgische norm

CPTe: coördinatie van productie en transport van elektrische energie (Coöperatieve vennootschap)

DCS: Digital Cordless System /Digital Cellular System

DECT: Digital European Cordless Telecommunication/ Digital enhanced cordless telecommunication

DC: direct current

ELF: extreem laag-frequent

EM: elektromagnetisch

EMBV: elektromagnetische veldbelasting

EMC: elektromagnetische compatibiliteit

GSM: Global System for Mobile Communications

HGR: Hoge Gezondheidsraad België

ICNIRP: International Commission on non-ionising radiation protection

ICT: informatie en communicatietechnologie

IRPA: International Radiation Protection Association

NIS: Nationaal Instituut voor de Statistiek

RF: radiofrequentie

SAR: Specific Absorption Rate

SAT: Specifiek Absorptie Tempo

TETRA: Terrestrial Trunked Radio

UV: ultraviolet

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

Vito: Vlaamse Instelling voor technologisch onderzoek

Eenheden

A: ampère

eV: elektronvolt

g: gram

Hz: Hertz

J: Joule

m: meter

Ω : Ohm

T: tesla

V: Volt

W: watt

[Terug naar Inhoudsopgave](#)